

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta Stavební

Katedra geotechniky a podzemního stavitelství

**Posouzení sesuvu svahu zářezu na silnici I/55 ve Starém Městě u
Uherského Hradiště**

Assessment of the Cut Slope Stability of the Road I/55 in Staré Město by
Uherské Hradiště

Student:

Bc. Lukáš Janeček

Vedoucí diplomové práce:

doc. RNDr. Eva Hrubešová, Ph.D.

Ostrava 2011

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci *Posouzení sesuvu svahu zářezu na silnici I/55 ve Starém Městě u Uherského Hradiště* vypracoval samostatně pod vedením doc. RNDr. Evě Hrubéšové, Ph.D. a uvedl jsem v seznamu literatury všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne _____

Podpis studenta

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3)
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- Beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě _____

Anotace:

Předmětem této práce je řešení problematiky sesuvu svahu zářezu u komunikace I/55 a řešení jeho sanačních opatření. V oblastech, kde se často vyskytují sesuvy půdy, musíme při budování silnic řešit stabilitu svahu, která je podmíněna vhodným sklonem pro danou zeminu a odvodněním svahu, tak aby nebyla porušena smyková pevnost zeminy a nedošlo k sesuvu půdy a tím závalu silnice.

Annotation:

The subject of this work is tackling landslide slope breaking out cup for communication I/55 and solve its remedial actions. In areas where landslides frequently, we need to address when building roads slope stability, subject to suitable inclination for the soil and drainage slope, so that has not been violated and there fore the strength of soil to landslide and thereby carving fall road.

OBSAH

SEZNAM POUŽITÉHO ZNAČENÍ	7
1. ÚVOD	8
2. CHARAKTERISTIKA ZÁJMOVÉ OBLASTI	9-10
3. GEOLOGICKÝ VÝVOJ OBLASTI	11
4. GEOLOGICKÁ STAVBA ZÁJMOVÉ OBLASTI	12
4.1 GEOLOGICKÝ PRŮZKUM	12
4.2 GEOMORFOLOGIE ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ	13
4.3 GEOLOGICKÉ POMĚRY ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ	13-15
4.4 HYDROGEOLOGICKÉ POMĚRY ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ	15
5. CHARAKTERISTIKA STÁVAJÍCÍCH SESUVŮ NA SVAHU ZÁŘEZU	16
5.1 POPIS JEDNOTLIVÝCH SESUVŮ	16-18
6. FAKTORY ZPŮSOBUJÍCÍ SVAHOVÉ POHYBY A DEFORMACE	19-20
7. MODELOVÁ ANALÝZA SVAHU	21
7.1 VOLBA POSUZOVANÉHO SVAHU	21-22
7.2 VSTUPNÍ PARAMETRY PRO VÝPOČTOVÝ MODEL	22-24
7.3 VLIV VODY	24
7.4 VLIV DOPRAVY	24-25
7.5 POSTUP VÝPOČTU V NUMERICKÉM PROGRAMU PLAXIS 2D	25-27
7.6 VYHODNOCENÍ PRIMÁRNÍHO VÝPOČTU	27-30
8. NÁVRH SANAČNÍHO OPATŘENÍ	31-33
8.1 SANACE SVAHU POMOCÍ GABIONOVÉ STĚN	33-39
8.2 SANACE SVAHU POMOCÍ HLOUBKOVÉHO ODVODNĚNÍ	39-44
8.3 SANACE SVAHU POMOCÍ ŽELEZOBETONOVÉ VETKnutÉ STĚNY	45-48
9. SHRUTÍ VÝSLEDKŮ MODELOVÁNÍ	49-51
10. ZÁVĚR	52
SEZNAM OBRÁZKŮ	53-54
SEZNAM TABULEK	55
SEZNAM LITERATURY	56
PŘÍLOHOVÁ ČÁST DIPLOMOVÉ PRÁCE	57-63

Seznam použitého značení

γ_{sat}	objemová hmotnost saturované zeminy	[kNm ⁻³]
γ_{unsat}	objemová hmotnost nesaturované zeminy	[kNm ⁻³]
E	deformační modul	[MPa]
ν	poissonovo číslo	[-]
c	soudržnost	[kPa]
φ	úhel vnitřního tření	[°]
K	součinitel filtrace	[m/s]
w	vlhkost	[%]
w _L	vlhkost na mezi tekutosti	[%]
w _p	vlhkost na mezi plasticity	[%]
$\bar{\sigma}_{\text{ef}}$	efektivní napětí	[MPa]
u	pórový tlak	[kPa]

1. Úvod

Diplomová práce je zaměřena na posouzení stability svahu zářezu obchvatu Starého Města u Uherského Hradiště a návrh sanace daného svahu, aby v budoucnu nedocházelo k sesuvům zeminy. Při budování umělých svahů se projektanti snaží stanovit většinou největší sklony násypů nebo zářezů do svahu dle ČSN 73 1001, pro které jsou ještě stabilní. Většinou je k tomu vede menší množství výkopových prací. Při tomto návrhu vycházejí ze znalostí průzkumných vrtů, kde je popsána geologie podloží a hydrogeologické poměry. Při projektování sklonu svahu se často zapomíná na kolísání hladiny podzemní vody, která může na jaře vlivem tání sněhu vstoupnout a v kombinaci se špatným povrchovým nebo hloubkovým odvodněním má za následek snížení smykové pevnosti zemin a tím porušením horninového masívu. V období kdy je velká vydatnost dešťových srážek může docházet ke svahovým pohybům vlivem naplnění pórů vodou a stoupnutí hladiny podzemní vody.

Ve fázi projektu se často také neuvažuje o vlivu dynamického zatížení, v našem případě je to od silnice, které je vyvoláno pohybem vozidel po komunikaci. Toto dynamické zatížení má za následek snížení stupně stability svahu.

Náchylnost svahu k sesouvání je dána geologickou strukturou, vlastnostmi hornin, hydrogeologickými poměry, stavem morfologického vývoje dané lokality a klimatickými poměry (rozdělení srážek během roku a změn teploty). V prvotním návrhu projektu se musí počítat se všemi těmito vlastnostmi nebo ideálně je konzultovat s oprávněnou osobou. Pokud něco zanedbáme, může to v budoucnu vést k následnému sesuvu svahu a pak ke zbytečně drahým sanacím.

Cílem mé diplomové práce bude pomocí numerického výpočetního programu Plaxis 2D modelovat současný stav zářezu a snažit se zjistit příčiny sesutí zeminy v dané zájmové lokalitě. V další části se budu snažit navrhnout minimálně dvě alternativy sanačního opatření svahu, tak aby byl splněn stupeň stability a nedocházelo již k dalším sesuvům.

2. Charakteristika zájmové oblasti

Zájmové území se nachází v jižní části České republiky mezi pohořím Chřibů a Bílých Karpat. Oblast, kde se vyskytují sesuvy, se nachází na okraji Starého Města u Uherského Hradiště. Komunikace rozděluje danou oblast, kde z jedné strany se jedná o volné prostranství a z druhé strany se nachází zástavba zemědělských objektů, u kterých nebudeme v posudku návrhu uvažovat o přetížení horní části svahu od zemědělských strojů popř. vlastní tíhy staveb. Zemědělské objekty byly stavěny jako lehká ocelová konstrukce, přičemž opláštění je tvořeno trapézovým plechem nebo dřevěným obkladem. Danou oblastí prochází železniční trať, která je vzdálena vzdušnou čarou cca 180 m od komunikace, a proto v návrhu posudku nebudou brány dynamické účinky od projíždějících vlaků v potaz.



Obrázek č.1- Přehledná situace zájmové oblasti v měřítku 1:25 000

Celková délka obchvatu je 3,070 km. Obchvat začíná napojením na silnici I/50 na severozápadním okraji Starého Města u Uherského Hradiště. Je veden ulicí Tovární v úrovni stávajícího terénu. V km 0,975 přechází přes mlýnský náhon a křížuje stávající komunikaci. V úseku km 1,050 – 1,910 je vedena komunikace v zářezu. V tomto úseku se vyskytují dané sesuvy. Maximální hloubka zářezu je do 8 m.

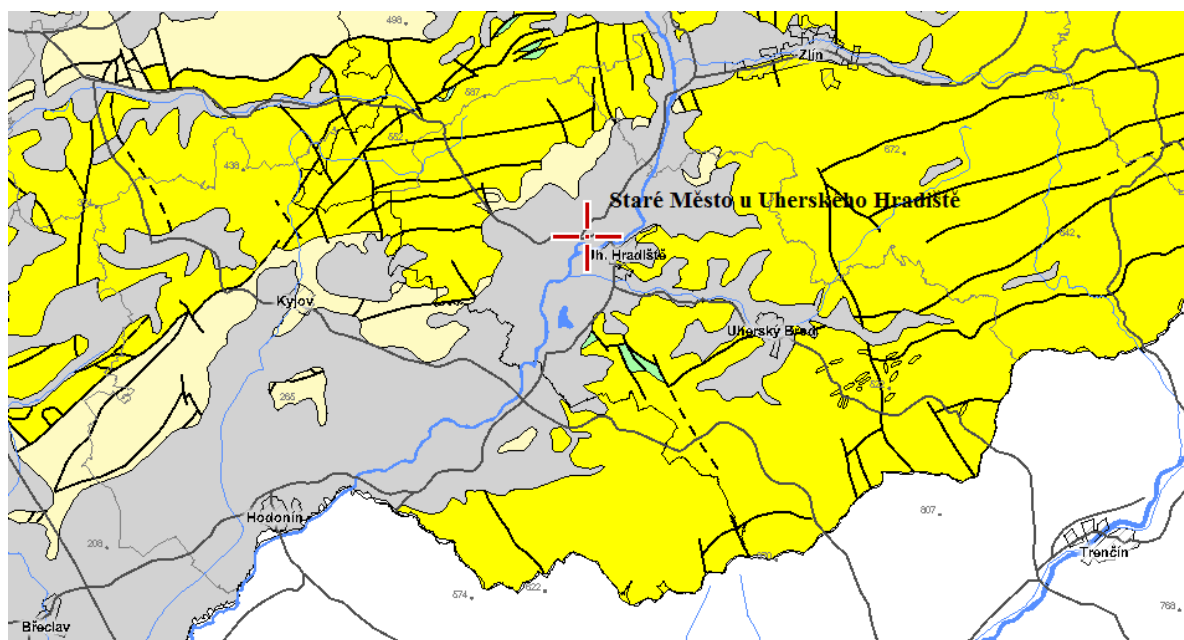
3. Geologický vývoj oblasti

„ Nejstarším členem krystalinika je zřejmě proterozoická peliticko-psefická série, patrně submarinního vulkanismu. V době předkambrické orogeneze byla tato série vyvrásněna. Ve starším paleozoiku byla oblast souší. Ke konci období opět dochází k vrásnění. Ve svrchním karbonu dochází od jihu k transgresi moře a k sedimentaci pelitů a psefitů. Při mladovariském vrásnění dochází k regresi moře, takže ve spodním permu je oblast souší. V druhohorách dochází k vývoji centrálních Karpat. Po vrásnění akvitánském, vzniká deprese, spojující sedimentační prostory alpské čelní hlubiny s vnitřními karpatskými pánvemi. Během burdigalu dochází znovu k vyzdvižení území, které trvá až do středního miocénu. Začátkem středního miocénu zasáhla oblast rozsáhlá transgrese moře. Zálivově zasáhla nynější orografické jednotky – Čelní hlubinu, Vídeňskou pánev. Štýrské pohyby vrcholí mezi karpatskou formací a spodním bádenem. Dochází k nasunutí ždánické jednotky na čelní hlubinu a následnému poklesu okraje Českého masívu. Tím dochází ke vzniku nové, od předešlé posunuté čelní hlubiny, zaplavené ve spodním bádenu. Jejich důsledkem je dostatečný pokles okrajových částí Českého masívu a přesunutí flyše přes čelní hlubinu a v celé čelní hlubině k ukončení sedimentace. V průběhu pliocénu dochází k dalšímu klesání pánevních jednotek podle okrajových zlomů. Vlivem těchto poklesů zasahují sedimenty vyššího pliocénu nejen do pánví dříve zaplavených, ale i do oblastí dříve nezaplavených – severní část Vídeňské pánve a Hornomoravský úval. V průběhu pliocénu se pohyby uklidňují. Udrzuje se jen fluvialní a fluvilakustrinní sedimentace ještě v klesajících oblastech pánví. ” [6]

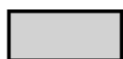
4. Geologická stavba zájmového území

4.1. Geologický průzkum

Daná oblast byla důkladně prozkoumaná v letech 1991 firmou GEO KONZULT jako podklad pro zpracování projektové dokumentace obchvatu Starého Města. Studium archivních map geologie ČR bylo zjištěno, že zájmová oblast spadá do posledního období ve vývoji naší země, tedy čtvrtohor, které trvá až doposud. Do doby čtvrtohor se počítají veškeré syké náplavy rázu jílovitého, hlinitého, písčitého a štěrkovitého, které se usadily po době třetihorní nebo eolické (váté) sedimenty. Bylo zde provedeno kolem 11 vrtů, přičemž hloubka jednotlivých vrtů dosahovala od 8 do 15 m. V našem případě budeme používat pro modelování poznatky z vrtů J5, J6 a J7.

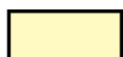


Čtvrtohory



Čtvrtohorní usazené horniny - hlíny, spraše, štěrky, písky

Třetihory



Třetihorní usazené horniny - jíly, písky



Třetihorní usazené horniny alpsky zvrásněné - pískovce, břidlice

Obrázek č.2 - Geologická mapa zájmové oblasti v měřítku 1:500 000

4.2. Geomorfologie zájmového území

Z geomorfologického hlediska je zájmové území součástí provincie Západní Karpaty, subprovincie Vnější západní Karpaty, oblasti Moravsko-slovenské Karpaty a je situován do celku Dolnomoravského úvalu. Zájmové území je situováno na levobřežní horní terase řeky Moravy. Jeho začátek a konec je příslušný do Dyjsko – moravské nivy. Jedná se o nejnižší část Dolnomoravského úvalu. Střední nadmořská výška se pohybuje kolem 188 m.n.m. při středním sklonu 1°13'.

Systém	Alpsko - himalájský
Subsystém	Karpaty
Provincie	Západní Karpaty
Subprovincie	Vnější Západní Karpaty
Oblast	Moravsko-slovenské Karpaty
Celek	Dolnomoravský úval
Podcelek	Neuvádí se

Tabulka č.1- Základní geomorfologické členění zájmové oblasti

4.3. Geologické poměry zájmového území

Zájmová oblast regionálně přísluší do Vídeňské pánve. Z geologického hlediska lze v dané oblasti vyčlenit formace kvarterní tvořené výhradně soudržnými a nesoudržnými sedimenty a formace předkvarterní, které jsou tvořeny soudržnými a nesoudržnými sedimenty, v případě eluvií, tak i formace tvořené výhradně podskalními až skalnatými horninami. Vrtnými pracemi byly zastiženy šedozelené, rezivě a hnědě šmouhovité, řídkěji modrošedé jíly. Jsou nevrstevnaté, vysoce plastické, nevápnité. Obsahují písčité složky, které jsou neměřitelné, až dosahují mocnosti přes 1 m. Dále byly zjištěny polohy, obsahující dokonce opracované valouny štěrku do velikosti 2 cm. Mocnost těchto poloh je nevelká cca dm, přičemž množství štěrku je proměnlivé. Též jejich hustota v jednotlivých vrstvách. Na základě poznatků z vrtů, bylo v dané lokalitě vyčleněno celkem 6 geotechnických typů zemin:

- typ č.1 navážka
- typ č.2 deluviofluviální hlíny
- typ č.3 neogenní jíly se štěrkem
- typ č.4 neogenní písky

- typ č.5 neogenní hlína
- typ č.6 jíl písčitý

1. typ – navážky zahrnují v sobě 2 výrazně odlišné materiály, které se nacházejí ve vrtu J7. První materiál je tvořen zeminou, která sem byla dovezena jako zbytkový materiál při opravě místního rybníka a druhým materiálem je cihelná suť. Hloubka navážky může dosahovat až 1,5 m.

2. typ – deluviofluviální hlíny byly ověřeny pod navážkou. S humózní hlínou se často vyskytovaly ve vrtech J5 (mocnost 0,2 - 3,5 m), J6 (0,3 - 3,0 m) a J7 (1,4 - 2,8 m). Jsou světle hnědé, šedohnědé, žlutohnědé, narezivělé barvy. Podle výsledků zrnitostního rozboru, jsou klasifikovány jako jílovitá hlína písčitá až písčitý jíl, ojediněle se štěrkovitou příměsí. Naměřená vlhkost byla $W_n = 12,95 \%$, mez plasticity $W_p = 11\%$ a mez tekutosti $W_L = 36 \%$. Deluviofluviální hlíny ve vrtech J6 a J7 byly zařazeny do třídy F4 podle ČSN 73 1001. Hlína jílovito-písčitá s obsahem 20 % dokonale opracovaných štěrků ve vrtu J5 byla zařazena do třídy S3 podle ČSN 73 1001.

3. typ – neogenní jíly tvoří spodní metráže všech vrtů. Jsou pestrých barev od šedozelené až do modrošedé s hnědými, rezavými a červenými skvrnami. Naměřená vlhkost byla $W_n = 15,82 \%$, mez plasticity $W_p = 11\%$ a mez tekutosti $W_L = 39 \%$. Celkem bylo odebráno devět vzorků a na základě dosažených průměrných hodnot je uvedený vzorek zařazen do třídy F4 dle ČSN 73 1001.

- **neogenní jíly se štěrkem do velikosti 2 cm** tvoří spodní metráž vrtu J5 (3,5-8,0 m), která sahá až do konce vrtu. Jíl je šedozelený hnědě a červeně louhovaný s polohami se zvýšeným obsahem valounů štěrku do velikosti 2 cm a je tuhý. Naměřená vlhkost byla $W_n = 19,31 \%$, mez plasticity $W_p = 13\%$ a mez tekutosti $W_L = 58 \%$. Byl zařazen do kategorie F4 dle ČSN 73 1001.

- **neogenní jíly se štěrkem do velikosti 1 cm** tvoří spodní metráž vrtu J6 (3,0 – 13,5 m), která sahá až na dno vrtu. Jíl je šedozelený, hnědě a červeně šmouhovitý s polohami s obsahem valounů štěrku do velikosti 1 cm. Jíl je tuhý a s hloubkou pevný neogen. Podle ČSN 73 1001 byl zařazen do kategorie F8.

- **neogenní jíly se štěrkem se** nacházejí ve vrtu J7 a tvoří spodní metráž vrtu (6,4-15 m), která sahá až na dno vrtu. Jíl je barvy šedozelené hnědé, červené a žlutě šmouhovaný s polohami s vyšším obsahem valounů štěrku. Naměřená vlhkost byla $W = 19,31 \%$, mez

plasticity $W_p = 13\%$ a mez tekutosti $W_L = 58\%$. Jíl tvoří tuhý neogen a je zařazen do kategorie F2 dle ČSN 73 1001.

4.typ – neogenní písky vytváří tenké vrstvičky až výrazné polohy v jílech. Tyto polohy byly ověřeny ve vrtu J7 (5,7-6,4 m). Písky mají barvu hnědou a jsou středně až hrubě zrnité ulehle. Písky obsahují značné množství pojiva. Naměřená vlhkost byla $W = 20,22\%$, mez plasticity $W_p = 17\%$ a mez tekutosti $W_L = 27\%$. Na základě této skutečnosti jsou zařazena do třídy F4 dle ČSN 73 1001.

5.typ – neogenní hlína leží pod deluviofluviálními hlínami ve vrtu J7 (2,8 - 3,2 m) a vytváří tenkou vrstvu. Hlína jílovitá má barvu šedozelenou rezivě a hnědě šmouhovanou. Neogenní hlína byla zatříděna dle ČSN 73 1001 do kategorie F4.

6.typ – jíl písčité nachází se ve vrtu J7 (4,2 – 5,7 m). Jeho barva je šedozelená a je tuhý. Je zatříděn dle ČSN 73 1001 do kategorie F6.

4.4. Hydrogeologické poměry zájmového území

Vody hlubinného cyklu se nacházejí ve větších hloubkách, závislých na možnostech cirkulace, podmíněné geologickou stavbou neogenu. Tyto vody nebyly provedenými vrti zastiženy. Ve vrtech byla zastižena pouze hladina podzemní vody mělkého oběhu. Jedním typem této vody je voda, pohybující se kolektorem nivních sedimentů vodotečí. Úroveň její hladiny koresponduje s úrovní hladiny ve vodotečích. Dalším typem vodní hladiny je voda průsaková. Jedná se o vodu, prosakující více či méně propustnými kvartérními sedimenty. Ta se akumuluje na nepropustném předkvartérním podloží, odkud je gravitačně odváděna nebo vyplňuje morfologické deprese. V tomto případě se jedná o relativně malé množství podzemní vody.

Další výskyt hladiny podzemní vody je též charakterem průsakové vody. Při jejím pohybu došlo k oboustrannému uzavření její hladiny nepropustnými polohami. Tato voda sleduje úklon těchto vrstev a může docházet až k jejím výronům ve formě pramenů. Množství vyvěrající vody je závislé na množství vody v akumulační oblasti.

Laboratorním zkouškám byly podrobeny 3 vzorky vody. Na základě výsledků zkoušek je analyzovaná voda ze sousedství potoka Salaška neagresivní a ze sousedství mlýnského náhonu vykazuje slabě síranovou agresivitou.

5. Charakteristika stávajících sesuvů na svahu zářezu

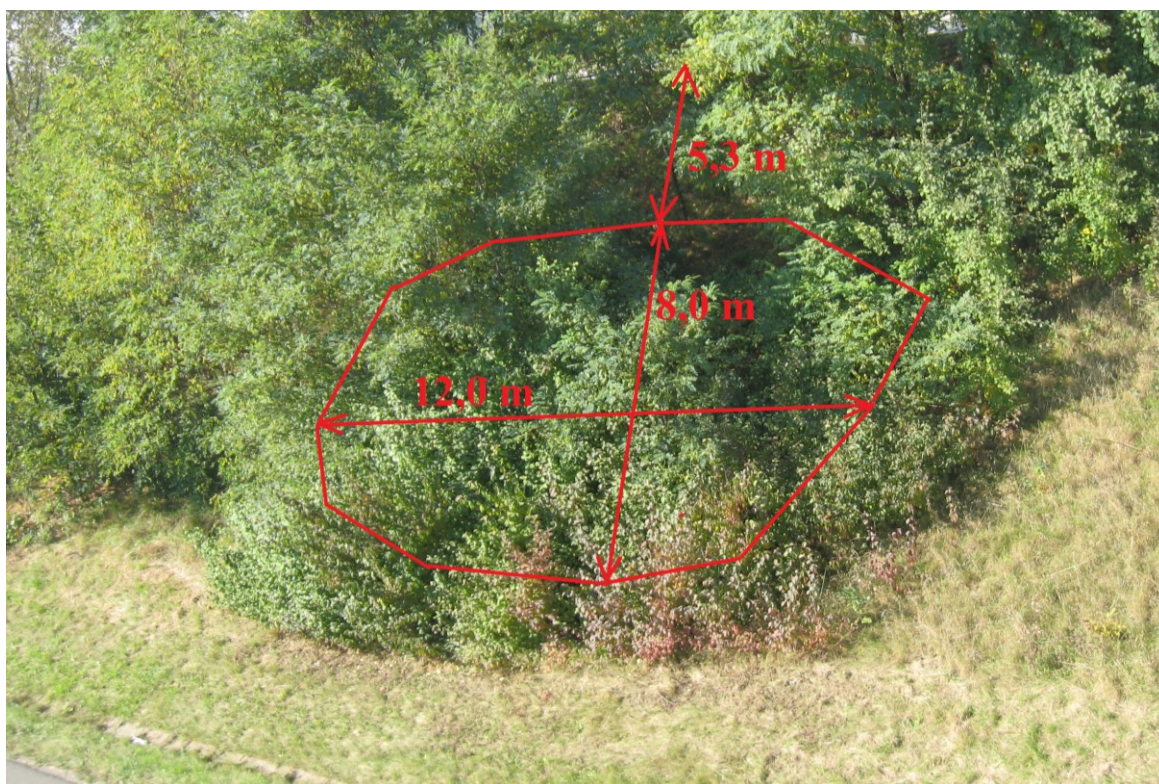
Sesuvy se nacházejí na úseku komunikace obchvatu Starého Města u Uherského Hradiště a to na km 1,180 – 1,350. První sesuv se objevil na přelomu tisíciletí. Nachází se vedle mostní konstrukce pod autobusovou zastávkou, která je vzdálena od koruny svahu cca 5 m. Druhý a třetí sesuv se objevily v roce 2009 a nacházejí se pod zástavbou zemědělských objektů. Objekty jsou vzdáleny cca 10 m od sesuvů. Čtvrtý sesuv se objevil na jaře roku 2010 a nachází se vedle mostní konstrukce a pod příjezdovou komunikací. Všechny sesuvy spadají do III. kategorie. Jedná se tedy o stékání a to je charakterizováno jako rychlé krátkodobé pohyby o rychlostech metry za hodinu nebo kilometry za hodinu. Horninové hmoty jsou obvykle ve viskózním stavu a od podloží jsou ostře odděleny. Stékání je způsobeno saturací zeminy vodou. Pro tečení je charakteristická nepřesně vymezená smyková plocha a turbulentní složka pohybu. Voda vytváří vztlakovou sílu, která snižuje smykový odpor a tak i nestabilitu svahu.

5.1 Popis jednotlivých sesuvů

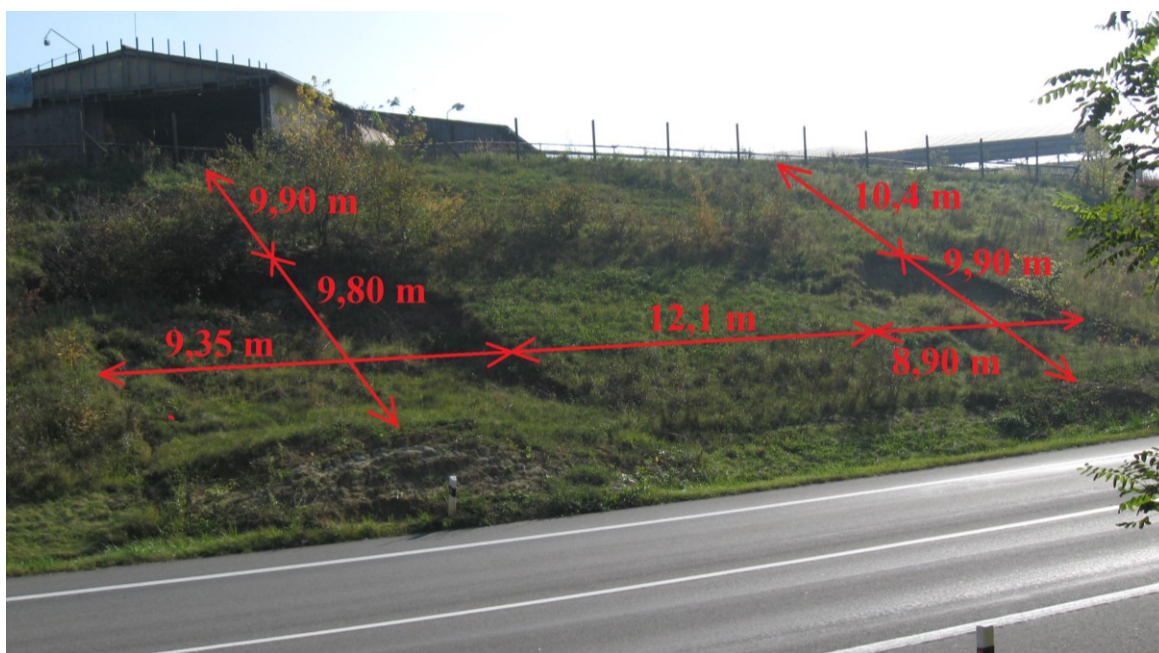
Sesuv č.1 – délka sesuvu dosahuje zhruba 8 m a šířka je 12 m. Sesutá zemina je tvořena převážně jílem písčitým, hlínou jílovitou a navážkou (hlína s úlomky cihel). Sesuv zřejmě vyvolala saturace zemin, ale nelze ani vyloučit vliv dopravy v koruně svahu. Tvar smykové plochy je podkovovitý a nachází se cca ve $\frac{2}{3}$ výšky svahu zářezu. Transportní zóna není příliš velká a přechází rovnou do akumulární zóny, která se nachází v patě svahu.

Sesuv č.2 a 3 – jedná se o sesuvy nacházející se těsně vedle sebe ve vzdálenosti 12,1 m. Jejich délka dosahuje cca 10 m a šířka sesuvů je cca 9 – 10 m. Začátkem roku 2011 byla zpozorována další aktivita v podobě sesutí zeminy v odlučné oblasti, kde se nacházejí trhliny dosahující hloubky až několika desítek centimetrů. Zemina je tvořena převážně jílem písčitým a hlínou jílovito-písčitou s obsahem dokonale opracovaných valounů šterku. Sesuvy zřejmě vznikly saturací zemin. Při prvním prozkoumání svahu zářezu byly objeveny trhliny dosahující šířky až 20 mm a tak sesuv také mohl být aktivován těmito vzniklými trhlinami pod korunou svahu, které se nachází ve vrstvě jílovito-písčité. Tvar smykové plochy je podkovovitý a nachází se cca ve $\frac{2}{3}$ výšky svahu zářezu. Transportní zóna není příliš velká a

přechází rovnou do akumulční zóny, která se nachází v patě svahu a zasahovala částečně i do komunikace. Výška zeminy v akumulční zóně dosahuje cca 0,8 – 1,5 m.



Obrázek č.3 – sesuv svahu č.1



Obrázek č.4 – sesuv svahu č.2 a 3

Sesuv č.4 – délka sesuvu dosahuje cca 12 m a jeho šířka se pohybuje kolem 25 m. Sesutá zemina je tvořena jílem písčitým, hlínou jílovitou a navážkou (hlína s úlomky cihel), která vznikla při budování tělesa svahu. Daný sesuv byl zřejmě vyvolán saturací zemin, které tvoří těleso zářezu svahu, velký podíl na způsobeném sesuvu mohl ale vyvolat i pohyb vozidel v koruně svahu. Tvar smykové plochy je podkovovitý a začíná v koruně svahu. Transportní zóna není příliš veliká a přechází rovnou do akumulární zóny, která se nachází v patě svahu a zasahuje částečně i do komunikace. Výška zeminy v akumulované zóně dosahuje místy až 1,2 m.



Obrázek č.5 – sesuv svahu č.4

6. Faktory způsobující svahové pohyby a deformace

Faktory způsobující svahové pohyby (deformace) představují jak přírodní procesy, tak umělé zásahy do ustáleného dlouhodobého režimu vývoje svahu. Tyto faktory nelze zařadit do jedné obecné skupiny. Z hlediska charakteru působení a doby trvání se dají rozdělit na dlouhodobé a krátkodobé. Z hlediska geneze pak na přirozené a umělé. Terzaghi jako faktory označil příčiny svahových pohybů a rozděлил je na vnější a na vnitřní.

- **Vnější příčiny** zvyšují smykové síly v prostředí a řadí se k nim zvětšení sklonu a výšky svahu v důsledku říční eroze, zatížení svahu a seizmické otřesy.

- **Vnitřní příčiny** snižují odpor hornin proti smyku, náleží k nim zvyšování pórového tlaku vody, rychlý pokles vodní hladiny, mechanická sufóze.

Důležité je rozpoznat podmínky při studiu svahových pohybů, které způsobují náchylnost území k sesouvání a faktory, které pohyb bezprostředně vyvolaly. Náchylnost svahu k sesouvání je dána geologickou strukturou, vlastnostmi hornin, hydrogeologickými poměry a stavem morfologického vývoje území. Jedině přesná diagnóza umožňuje poznat stupeň nebezpečí a navrhnout účelné zabezpečení svahu. Rozmanitost svahových pohybů je podmíněna nejen geologickou strukturou, ale také růzností faktorů, které sesouvání způsobují. Jsou to zejména:

- 1) **Změna sklonu svahu** – vzrůst sklonu svahu způsobuje v horninách změnu napětí, rovnováha bývá porušena vzrůstem napětí ve smyku.
- 2) **Zvětšením výšky svahu**
- 3) **Přetížení násypy, haldami nebo skládkami** – způsobuje vzrůst smykového napětí vody v pórech jílovitých zemin, které zmenšuje pevnost ve smyku. Zatížení je tím nebezpečnější, čím je rychlejší.
- 4) **Otřesy a vibrace** – zemětřesením vznikají v horninách kmity různé frekvence. Podobně působí i výbuchy velkých náloží trhavin i otřesy strojů. V horninách pak vznikají dočasné změny napětí, které mohou porušit rovnováhu svahu. U zvodněného jemného písku a citlivých jílů mohou dát otřesy popud k přemístění nebo pootočení zrn a může způsobit, že se zeminy stanou náhle tekutými.

5) Změny obsahu vody

a) Vliv atmosférických srážek – dešťová voda a voda z tajícího sněhu vniká do puklin, kde vyvolá hydrostatický tlak, v zeminách vzrůstá napětí vody v pórech a pevnost ve smyku klesá. Periodicky se opakující sesuvné pohyby se vyskytují právě v létech, kdy jsou neobyčejně vydatné dešťové srážky.

b) Období sucha – zeminy vysychají a smršťují se. To platí obzvláště u jílovitých zemin. Vznikají v nich hluboké trhliny, které zmenšují soudržnost hornin na svazích a umožňují vnikání vody do jílovitých zemin.

6) Působení podzemní vody – tlak proudící podzemní vody na částice zeminy zhoršuje stabilitu svahu. Rychlé změny hladiny mohou dát popud k vzrůstu vodního tlaku v pórech, což může způsobit i náhlé ztekucení písku. Podzemní voda může vyplavit rozpustný tmel a to je doprovázeno zeslabujícími intergranulárními vazbami. To se projevuje zmenšením soudržnosti a klesá pevnost. Napjatá hladina podzemní vody působí na nepropustné vrstvy v nadloží jako vztlak

7) Činnost mrazu – vlivem mrznutí se zvětšuje objem vody v trhlinách. Staré trhliny se rozšiřují a nové se vytváří. V rozpukaných horninách je pak menší soudržnost. V jílovitých a v jílovotopísčitých zeminách se tvoří ledové vrstvičky. Při tání se zvětšuje obsah vody v povrchové vrstvě, která rozbírá.

8) Zvětrávání hornin – mechanické a chemické zvětrávání porušuje postupně soudržnost hornin. U mnohých sesuvů nasvědčují některé známky tomu, že dalším faktorem jsou chemické změny hornin vzniklé působením prosakující vody.

9) Změny ve vegetačním pokryvu – kořeny stromů udržují stabilitu svahu mechanickým působením a přispívají k vysušení svahu tím, že část podzemní vody spotřebují. Odlesněním svahu se mění vodní režim v povrchových vrstvách.

7. Modelová analýza svahu

7.1 Volba posuzovaného svahu

Pro modelovou analýzu v programu Plaxis 2D budeme vyhodnocovat sesuv a to na základě následujících kritérií:

- geologická složitost
- úroveň hladiny podzemní vody
- výška zářezu svahu
- velikost sesuvu
- zatížení svahu

V dané zájmové lokalitě byly celkem provedeny 3 vrty a to J5, J6 a J7, které jsou znázorněny v příloze č. (1). Nejsložitější geologie je ve vrtu J7, který je vyznačen na obrázku č.(4). Hloubka tohoto vrtu dosáhla 15 m. Z metráže vrtu bylo zjištěno časté střídání vrstev jemnozrnných zemin, které byly zařazeny do třídy F4 a F6 dle ČSN 73 1001. Úroveň hladiny podzemní vody byla zjištěna pouze ve vrtu J7. Výšky zářezu svahu, kde se vyskytují sesuvy, se pohybují v rozmezí 4,7-7,2 m. Největší plocha zasažená sesuvem se vyskytuje vedle mostní konstrukce a to u sesuvu č.4



Obrázek č.6 - Vyznačení sesuvu a poloha jednotlivých vrtných průzkumů

Podle těchto kritérií byl zvolen pro modelovou analýzu sesuv č.4 a to z důvodu, že naproti tohoto sesuvu byla zjištěna nejsložitější geologie a výskyt hladiny podzemní vody. Z jednotlivých zaměření svahu bylo zjištěno, že se jedná o nejmenší výšku svahu ze všech čtyř sesuvů (to je jediné negativum) a oproti tomu je zde největší postižená plocha svahu zářezu. Dalším významným kritériem bylo rovněž zatížení koruny svahu, kde je vedena příjezdová cesta do družstevních objektů.

Nadmořské výšky koruny, paty svahů a sesuvů byly zaměřeny pomocí tzv. otevřené nivelace. Nevýhodou této metody je, že není možné ověření přesnosti naměřených hodnot na základě vrácení se na původní místo známého výchozího výškového bodu a tím, zjištění chyb měření a následné rozdělení chyby mezi jednotlivé body. Proto zaměření daných výšek svahu a sesuvu proběhlo dvakrát a hodnoty byly zprůměrovány a jsou uvedeny v tabulce přílohy č. (2). Nivelální tah začínal na známém nadmořském výškovém bodě, který měl hodnotu 189,814 m.n.m a je umístěn na objektu domu bývalého mlýna ve výšce 0,8 m nad terénem vzdáleného cca 250 m od sesuvu č.2. Nivelální schéma postupu měření je znázorněno v příloze č.2.

7.2 Vstupní parametry pro výpočtový model

Na základě vrtného průzkumu byla zjištěna geologie daného území z vrtu J7, která byla získána v Geofondu. Parametry zemin byly získány dvojím způsobem. Prvním způsobem byly zjištěny hodnoty pomocí laboratorních zkoušek pro neogenní jíl, který tvoří spodní metráž vrtu. Druhým způsobem byly zjištěny parametry zemin nacházejících se v příčném řezu tělesa. Tyto hodnoty byly převzaty z normy ČSN 73 1001 na základě zatřídění hornin a zemin do jednotlivých tříd. Většinou se braly střední hodnoty. Problém nastal při určení pevnostních a přetvárných charakteristik u navážky. Tato vrstva navážky byla tvořena převážně hlínou a úlomky cihel. Vstupní parametry pro tuto vrstvu byly konzultovány s panem doc. Dr. Ing. Lahutou Hynkem. Aby smyková plocha odpovídala skutečnému stavu, který se teď nachází v zářezu svahu, musel jsem upravit úhel vnitřního tření $[\varphi]$ a soudržnosti $[c]$ s ohledem na kolísání hladiny podzemní vody. Dále jsem upravit vrstvu navážky pod příjezdovou komunikací, kde jsem snížil modul přetvárnosti z původní hodnoty 6 MPa na hodnotu 2,5 MPa z důvodu průsaku vody asfaltovou komunikací. V tabulce č.(2) jsou uvedeny hodnoty pevnostních a přetvárných charakteristik zjištěných na základě geotechnického průzkumu a následného zatřídění do tříd a v tabulce č.(3) jsou uvedeny

hodnoty upravených parametrů na základě kolísání hladiny podzemní vody. Tyto zeminy byly modelovány Mohr-Coulombovým modelem a typ materiálu byl použit undrained. Pro stanovení propustnosti jednotlivých vrstev se vycházelo ze součinitele filtrace K (m/s), které byly přepočteny na jednotky m/den.

název	zatřídění	objem. hmotnost unsat/sat (kN/m ³)	E (Mpa)	ν (-)	c (kPa)	ϕ (°)	propustnost m/den
navážka	Y	18/20	6	0,35	12	26	0,864
jíl písčitý	F4	18,5/20,5	5	0,35	16	22	0,0864
hlína jílovitá	F4	18,5 /20,5	5	0,35	18	22	0,864
hlína písčitá	F4	18,5/20,5	5	0,35	18	22	0,864
jíl písčitý	F6	18,5/20,5	4,5	0,35	18	22	0,0864
písek hlinitý	F4	18 /20	10	0,30	10	29	0,864
jíl	F4	19,8/21,8	4,74	0,35	164	8	0,000864

Tabulka č.2 – Data poskytnutá geotechnickým průzkumem [6]

název	zatřídění	objem.hmotnost unsat/sat (kN/m ³)	E (Mpa)	ν (-)	c (kPa)	ϕ (°)	propustnost m/den
navážka(A)	Y	18/20	5	0,35	6	17	0,864
navážka(B)	Y	18/20	2,5	0,35	2	10	0,864
jíl písčitý	F4	18,5/20,5	3,5	0,35	5	18	0,086
hlína jílovitá	F4	18,5/20,5	3,5	0,35	8	18	0,864
hlína písčitá	F4	18,5/20,5	3,5	0,35	3	15	0,864
jíl písčitý	F6	18,5/20,5	3	0,35	6	18	0,086
písek hlinitý	F4	18/20	8	0,3	8	25	0,864
jíl	F4	19,8/21,8	4,74	0,35	164	8	0,000864

Tabulka č.3 – Upravené hodnoty parametrů zemin

V návrhu sanačního opatření bude použita gabionová stěna, hloubkové odvodnění pomocí horizontálních odvodňovacích vrtů a železobetonové vetknuté stěny. Gabionová zeď je vyskládaná z lomového kamene do drátového koše. Jedná se tedy o nesoudržný materiál. Tento typ konstrukce se bude modelovat jako lineárně pružný, protože dochází k porušení horninového prostředí. Vstupní parametry tělesa gabionu pro výpočet jako je objemová hmotnost, modul pružnosti a propustnosti byly převzaty [7]. V návrhu sanace svahu bude

umístěn pod gabionovou stěnou šterkopískový polštář. Silnice ve výpočtovém modelu je zohledněna dvěma vrstvami. První vrstvou je asfaltová živice. Tato vrstva je modelována jako lineárně elastický model. Druhou vrstvu tvoří konstrukční část vozovky a je modelována jako Mohr-Coloumbův model. Parametry pro skladbu vozovky a gabionu byly převzaty [7].

název	objem. hmotnost unsat/sat (kN/m ³)	E (Mpa)	ν (-)	c (kPa)	ϕ (°)	propustnost m/den
Asfaltová živice	15/17	200	0,2	-	-	0,000864
Lomový kámen	23/23	800	0,25	-	-	86,4
Konstrukční vrstva vozovky	19/21	8	0,25	1,5	30	0,864
ŽB základ	25	30000	0,2	-	-	-

Tabulka č.4 – Parametry potřebné k modelu svahu a návrhu sanace [7]

7.3 Vliv vody

Vzhledem k tomu, že daný svah byl pozorován v období od června 2010 do října roku 2011 se očekávalo, že dojde k výraznějšímu stoupnutí původní hladiny podzemní vody (viz. příloha č.1), která se nachází zhruba 1,6 m pod úrovní paty svahu. Hladina podzemní vody může stoupnout vlivem dlouhodobých srážek. V našem případě byl zpozorován na svahu, kde došlo k sesuvu, vývěr vody ve výšce cca 0,5 m nad patou svahu, kdy se v dané lokalitě vyskytovaly dešťové srážky po dobu 3 týdnů na přelomu března a dubna roku 2011 a proto ve výpočtovém modelu budeme počítat s úrovní hladiny podzemní vody v místě vývěru vody ze svahu.

7.4 Vliv dopravy

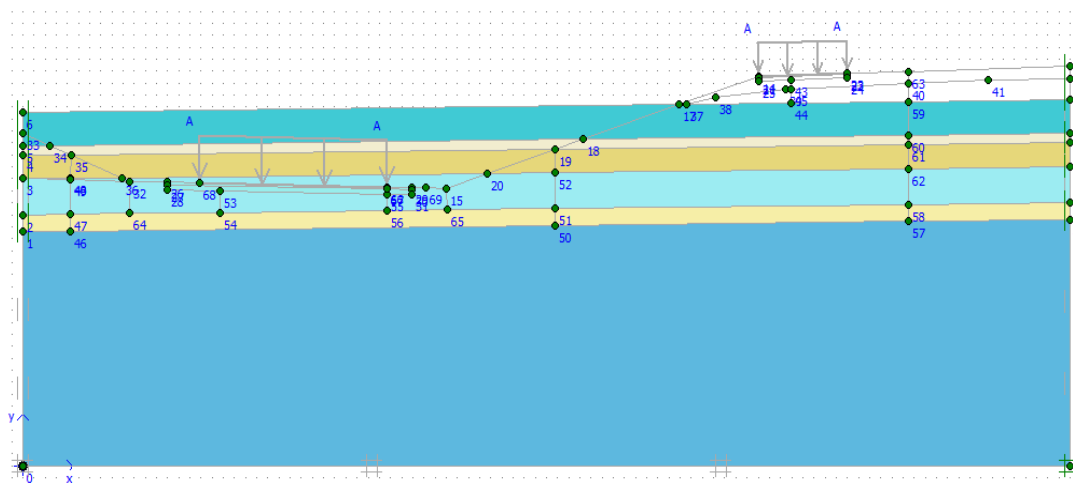
Dynamické účinky dopravy se nebudou ve výpočetním programu Plaxis 2D brát v potaz, protože se nejedná o symetrický model. Jediné s čím se bude počítat ve výpočtu v programu Plaxis 2D je plošné zatížení od vozidel. V koruně svahu projíždí většinou zemědělské stroje do hmotnosti 15 t a na základě toho jsem zvolil zatížení 3,5 kN/m², na komunikaci poblíž paty svahu se pohybují automobily do hmotnosti 20 t a proto bylo zvoleno zatížení 5,0 kN/m².

7.5 Postup výpočtu v numerickém programu Plaxis 2D

Výpočet se dá rozdělit do dvou hlavních částí. V první části se zabývám samotným tělesem zářezu svahu a snažím se zjistit, proč došlo k porušení smykové plochy ve svahu a následnému sesutí zeminy. Ve druhé části řeším sanační opatření svahu na základě zjištěných poznatků z modelové analýzy původního svahu zářezu. Postup ve výpočtu je rozepsán pouze orientačně, protože ve výpočtu probíhalo několik simulací a není možné je popsat jednoznačnou posloupností.

Krok č.1

Prvním krokem bylo vytvoření geometrie původního terénu a zářezu svahu obr č. (7), tak aby odpovídala co nejvíce skutečnosti a byly splněny veškeré podmínky pro vytvoření řádného modelu. Do připravené geometrie byly přiřazeny parametry zemin a vloženo plošné zatížení od vozidel v koruně a patě svahu. Dále je nutné stanovit okrajové podmínky pomocí tzv. vany a provést generování sítě, které se ve výpočetním programu Plaxis 2D provede automaticky. Po generování sítě proběhlo vyznačení hladiny podzemní vody a výpočet aktivních pórových tlaků. V takto připraveném modelu se nakonec nechá spočítat primární napjatost.



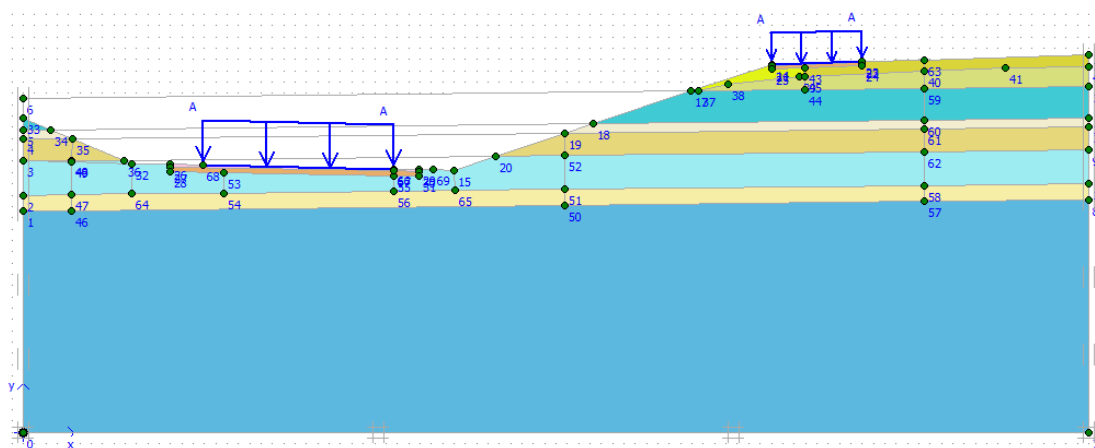
Obrázek č.7 – Původní geometrie terénu

Krok č.2

Ve druhém kroku byly odstraněny jednotlivé vrstvy zemin tak, aby byl vytvořen zářez svahu. V takto připravené geometrii se stanovila hladina podzemní vody pro určení aktivních pórových tlaků a nechal se proběhnout výpočet. Na základě výpočtu se stanovily celkové posuny zářezu vlivem odtěžení zemin.

Krok č.3

Ve třetím kroku byla přidána vrstva navážky v koruně svahu a přiřazeny parametry materiálu pro vytvoření konstrukční vrstvy vozovky a asfaltového krytu. Do takto připravené geometrie bylo vneseno plošné zatížení od vozidel obr. č. (8). Dále proběhlo vyznačení hladiny podzemní vody pro stanovení aktivních pórových tlaků a nechal se proběhnout výpočet. Na základě výpočtu se stanovily celkové posuny zářezu vlivem přitížení koruny svahu navážkou a plošným zatížením od aut.



Obrázek č.8 – Stávající geometrie svahu

Krok č.4

V kroku číslo čtyři výpočetní program stanovil stupeň stability svahu a proběhlo vyznačení smykové plochy svahu a určení celkového napětí ve svahu tělesa.

Krok č.5

V tomto kroku byly posuzovány možné sanace svahu na základě poznatků z předešlých kroků tak, aby sanační opatření zajistilo stabilitu svahu

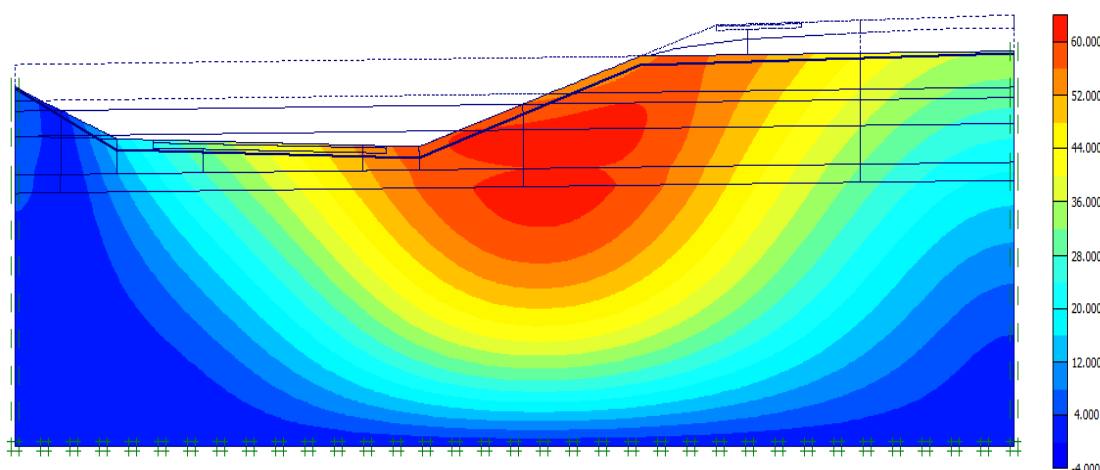
Ve výpočetním programu není počítáno s těmito příčinami:

- změna teploty
- změna objemů zemin a materiálů pro skladbu silnice
- dynamické zatížení hutněním
- dynamické zatížení dopravou
- sufóze částic jílu

7.6 Vyhodnocení primárního výpočtu

Následující výstupy na obrázcích vystihují průběh modelování, kterým bylo ověřeno maximální množství informací o tělese svahu zářezu na základě získaných podkladů z geotechnického průzkumu, vlastního měření a zkoumání na svahu zářezu.

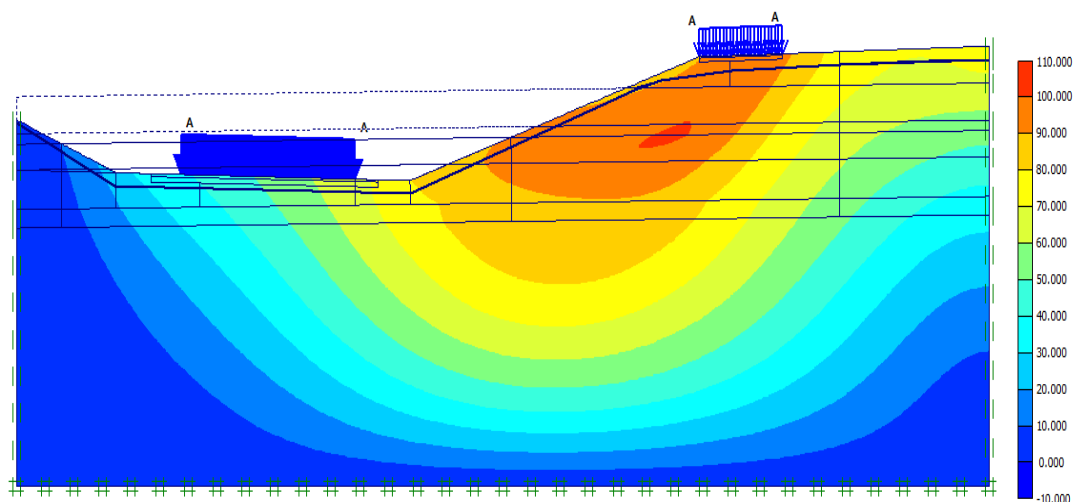
Z původního terénu se musela odtěžit zemina pro vytvoření zářezu. Vlivem odtěžení zeminy došlo k uvolnění napětí v zeminovém tělese, které je charakterizováno posuny. Celkové hodnota posunů je tedy 62,45 mm a průběh posunů je znázorněny na obrázku č. (9).



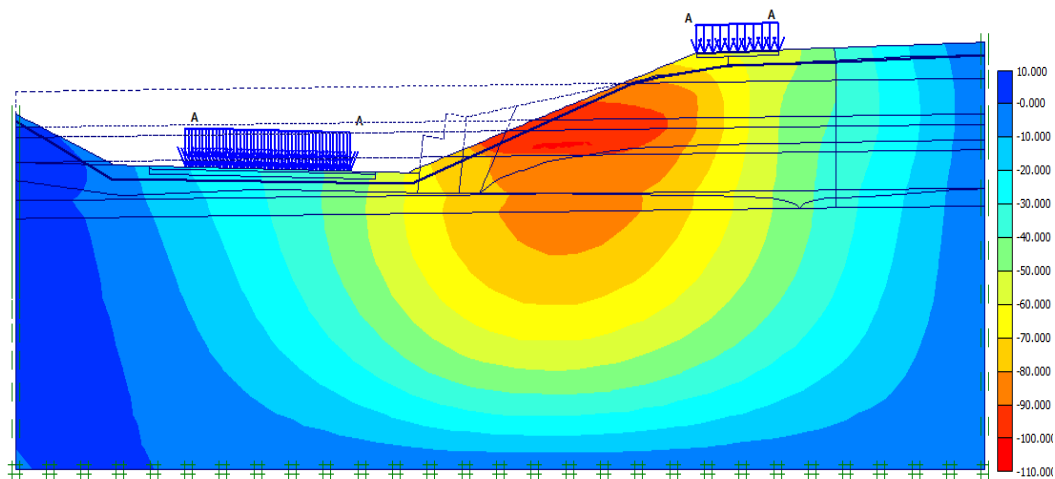
Obrázek č.9 – Celkové hodnoty posunů po odstranění zeminy

Po přidání navážky na korunu svahu a zhotovení komunikací, které jsou plošně zatěžovány silou $3,5 \text{ kN/m}^2$ a $5,0 \text{ kN/m}^2$, dosahují celkové posuny hodnoty $100,00 \text{ mm}$, které jsou znázorněny na obrázku č. (10) a to je navýšení oproti původním posunům o téměř 60%. Vlivem navržené blízké hladiny podzemní vody poblíž zářezu svahu, budu ve výpočtu brát v potaz vztlak podzemní vody. To se projeví ve výpočtu přidáním fáze konsolidace s minimálním pórovým tlakem $1,0 \text{ kN/m}^2$. Ze začátku bylo navrženo u konsolidace časové období 10 let (3650 dní) a to mělo vymezit časový průběh od dokončení stavby zářezu.

Bohužel výsledné hodnoty ve výpočtovém programu vycházely extrémě vysoké a neodpovídali požadovaným hodnotám a proto bylo přistoupeno k variantě s minimálním pórovým tlakem $1,0 \text{ kN/m}^2$. Celkové posuny se zvýší na hodnotu $104,10 \text{ mm}$ a tj. nepatrný nárůst oproti celkovým posunům bez konsolidace. Na obrázku č. (11) je znázorněn průběh horizontálních posunů, a ty dosahují hodnoty $100,52 \text{ mm}$. Vertikální posuny dosahují hodnoty $76,39 \text{ mm}$ a jsou znázorněny na obrázku č. (12).

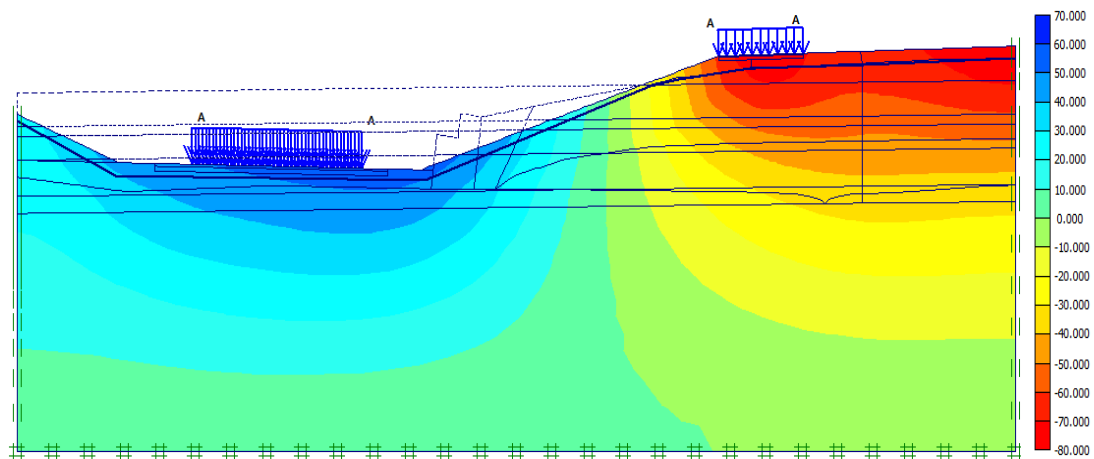


Obrázek č.10 – Celkové posuny po zhotovení navážky a komunikace

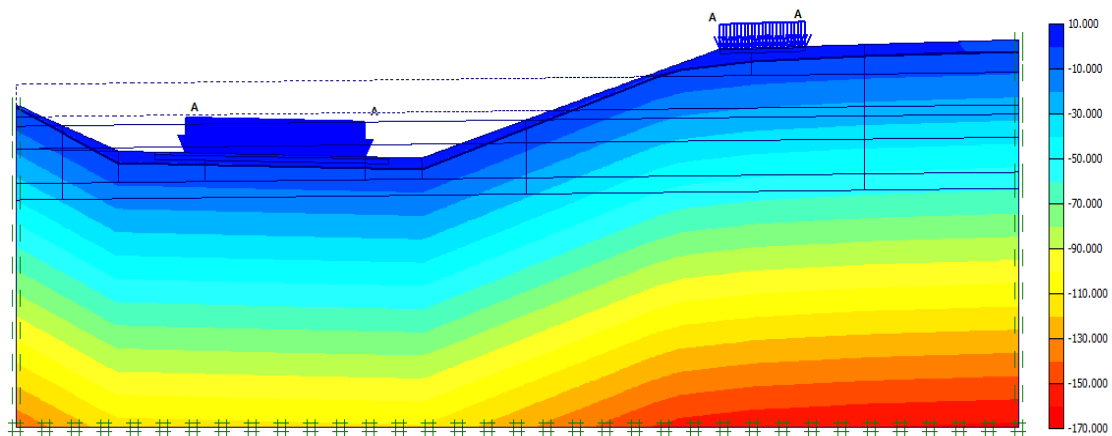


Obrázek č.11 – Horizontální posuny po zhotovení navážky a komunikace

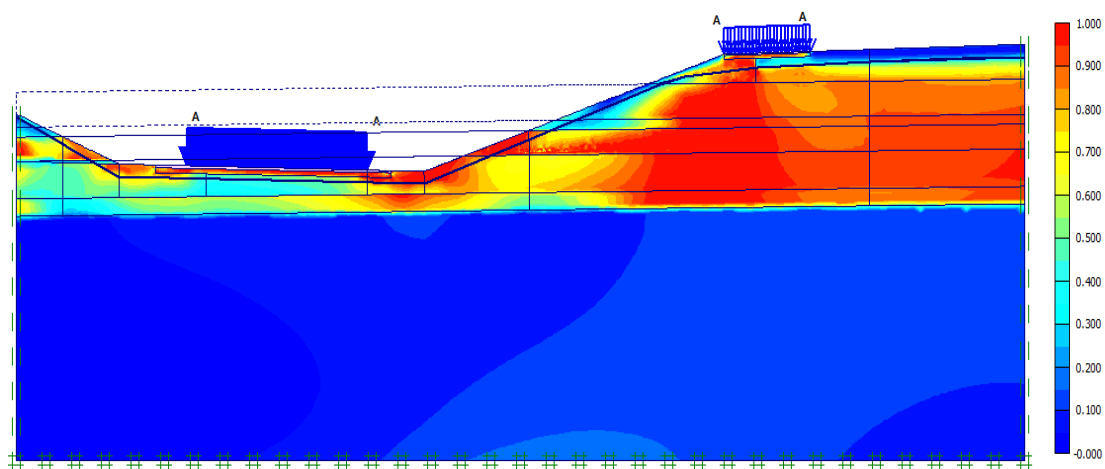
Na obrázku č. (14) je znázorněn průběh čerpání smykové pevnosti jednotlivých materiálů nacházejících se v tělese svahu. Největší čerpání smykové pevnosti je pod komunikací vedoucí v koruně svahu. U původního svahu dosahuje velikost aktivních pórových tlaků hodnoty $-162,00 \text{ kN/m}^2$, jeho průběh je znázorněn na obrázku č. (13).



Obrázek č.12 – Vertikální posuny po zhotovení navážky a komunikace

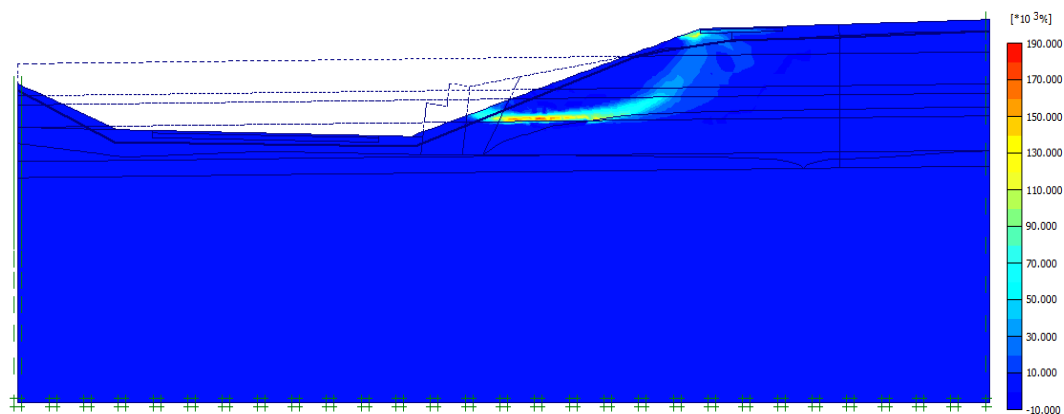


Obrázek č.13 – Průběh aktivních pórových tlaků



Obrázek č.14 – Čerpání smykové pevnosti materiálů

Výčet výsledků modelové analýzy stávajícího svahu je zakončen nalezením smykové plochy ve svahu zářezu znázorněné na obrázku č. (15) a určení stupně stability svahu. Průběh smykové plochy odpovídá skutečnému porušení svahu zářezu, který je znázorněn na obrázku č. (5). Stupeň stability svahu dosáhl hodnoty $SF = 1,18$.



Obrázek č.15 – Znázornění smykové plochy svahu zářezu

8. Návrh sanačních opatření

Pokud dojde k porušení svahu (faktory svahových pohybů jsou popsány v kapitole 6), musíme zajistit stabilitu svahu vhodným sanačním opatřením tak, aby byl splněn stupeň stability svahu a nedocházelo již k jeho dalším deformacím. Vhodné sanační opatření závisí také na finančních prostředcích investora.

Metody sanace porušených svahů lze rozdělit podle principu realizace do několika skupin: - úprava tvaru svahu

- odvodnění svahu (povrchové nebo hloubkové)
- ochrana svahu před zvětráváním a erozí
- zpevňování hornin a zemin
- technická stabilizační opatření
- zvláštní opatření

O **úpravě svahu** rozhoduje způsob jeho destrukce. Odlišné postupy se volí např. v případě svahu tvořeného zeminami, kde nejčastěji dochází k jednoduchému rotačnímu sesuvu, a svahu, kde hrozí vytlačení měkké vrstvy zemin z podloží. Zmenšením objemu zemního tělesa ve vyšších aktivních polohách svahu nebo zvětšením v jeho pasivní dolní části vede ke zlepšení stability svahů. Jednou ze starších metod je použití přítěžovacích násypů v patě svahu se zabudovanou drenážní vrstvou v patě násypu.

Odvodnění svahu je jedním z nejpoužívanějších sanačních opatření, kde se docílí především zmenšení pórového tlaku vody na smykové ploše. Voda se dostává během srážek vsakem do přirozených kolektorů nebo se může zachytávat v přítomných trhlinách. Těmito trhlinami voda proniká do masívu, kde může působit jako faktor snižující stabilitu svahu. Negativním vlivům lze předejít *povrchovým odvodněním* svahu. K sanaci svahu se používají prosté rýhy po spádnicích, stabilizované nebo uklidněné sesuvy se odvodňují systémem vodotěsných dlážděných příkopů, rigolů a drenáží, utěsňují se trhliny, svah se překrývá fólií, vytváří se nepropustný bitumenový povrch. Odvodňovací zařízení se musí pravidelně kontrolovat a udržívat. Zaústěno bývá do povrchové vodoteče nebo stávající kanalizace. Pro *hloubkové odvodnění* se používá převážně systém odvodňovacích vrtů, které by měly být vedeny až do propustné vrstvy v podloží smykové plochy.

U **ochrany svahů před zvětřáním a erozí** je důležitým faktorem, jestli je svah tvořen zeminami nebo skalním masívem. Výsadbou trav a drobných dřevin je možné zabránit zhoršení mechanických vlastností zeminového prostředí a to vlivem prorůstání kořenů zeminou, které ji zpevňují. Často se také používají vlnolamy, kamenné dlažby pro zpevnění břehů vodních toků, ale také i geomříže. U stěny ze skalního masívu se doporučují používat pláště ze stříkaného betonu, kotvené obkladové stěny a geomříže.

Zpevňováním hornin a zemin se docílí zvýšení smykové pevnosti jednotlivých materiálů a následně i nárůstu jejich pasivních sil např. pomocí injektování. Méně častý způsob zlepšení vlastností materiálu je použití zmrazování zemin. U tohoto způsobu se chladicí látka do zeminy vpravuje trubkami, které obvykle sahají do hloubky ne větší než 10 m, čímž je předurčen hloubkový dosah této metody. U měkkých jííl lze použít jako sanační metodu nehašené vápno ve formě vápenných pilot. Tyto zároveň pomáhají snižovat vlhkost a zvyšovat pevnost právě jemnozrnných zemin.

Technická stabilizační opatření zvyšují nebo zabezpečují stabilitu svahu v zeminách a skalních horninách. K tomu se používá zabudování umělých nosných a zpevňujících prvků. Vhodnou metodou je zpevnění povrchu pomocí *drátěného pletiva* obzvlášť tam, kde hrozí vypadávání úlomků hornin. Pletivo je upevňováno krátkými kotvami do horniny. Pomocí *hloubkového spárování* se zabrání pronikání vody do puklin a poruch ve skalním masívu a následně jejímu zmrazování a rozmrzávání. Stále častěji se ke zpevňování povrchových vrstev svahů násypů a zářezů v zeminách využívají *geotextilie* – tkaniny a rohože ze syntetických vláken. Jsou odolné vůči klimatickým vlivům a mají dobré pevnostní a deformační vlastnosti. Pomocí *opěrných a zárubních zdí* se zabezpečuje čelo sesuvu a svahy zářezu nad komunikacemi a zástavbou. Vhodným způsobem stabilizace svahu se jeví použití *gabionové stěny* (popis viz. kapitola 8.1.1.). Pokud jsou skalní stěny porušeny průběžnými plochami diskontinuit je vhodné použít *kotev*. Tyto kotvy umožňují přenášet tahovou sílu do hornin. Při návrhu stabilizace svahu pomocí kotev je potřeba brát v úvahu délky kotvy a spolehlivý přenos sil z hlav kotev na okolní horninu. *Pilotové a podzemní stěny* se používají pro zajištění rozsáhlých objektů nebo komunikací. Zhotovují se nejčastěji vrtáním s následným vložením armatury a vyplnění betonovou směsí. Hloubka stěn musí dosahovat pod úroveň smykové plochy. Kde se vyskytují sesuvy s mělkou smykovou plochou, se často využívají *mikropiloty*.

Při rozhodování o použití některé ze sanačních metod je kladen důraz zejména na typ svahové deformace, její hloubkový, plošný rozsah a objekt, který je svahovými pohyby ohrožen. Nedílnou součástí je zjištění příčin vzniku svahových pohybů a kde k svahovým pohybům dochází, jestli se jedná o skalní nebo zemní masív. V našem případě se jako vhodné sanační opatření jeví hloubkové odvodnění svahu například kombinací s povrchovým odvodněním nebo zajištění stability svahu pomocí gabionové stěny.

8.1 Sanace svahu pomocí gabionové stěny

8.1.1 Charakteristika gabionu

Gabion je slovo pocházející z francouzštiny a znamená drátěný koš. Gabiony, drátěné klece naplněné kamením, se v posledních dvaceti letech staly nejen významným pomocníkem při dopravních a terénních pracích, při zpevňování svahů kolem silnic, břehů řek či při budování protipovodňových valů. V mnohých případech zastanou funkci betonu, ale přitom si dokážou zachovat krásu přírodního nefalšovaného kamene. Použité materiály musí být vhodně zvoleny z důvodu odolnosti vůči povětrnostním vlivům, kámen neštěpivý a dostatečně tvrdý. Gabionové systémy umožňují rychlou výstavbu ekologických, kompaktních a vysoce odolných stavebních konstrukcí, jakými jsou opěrné zdi. Pro výplň se používají různé druhy materiálu od kameniva přes zeminu, drcený beton až po recyklovaný stavební materiál. I když jsou gabiony i matrace lehce a rychle sestavitelné, přesto nelze stavbu podceňovat.

Nejčastější použití gabionů a gabionových konstrukcí:

- stabilizace svahů, půdy
- opěrné zdi
- ochrana před padajícím kamením
- terénní úpravy
- stabilizace a sanace sesuvů
- úprava potoků

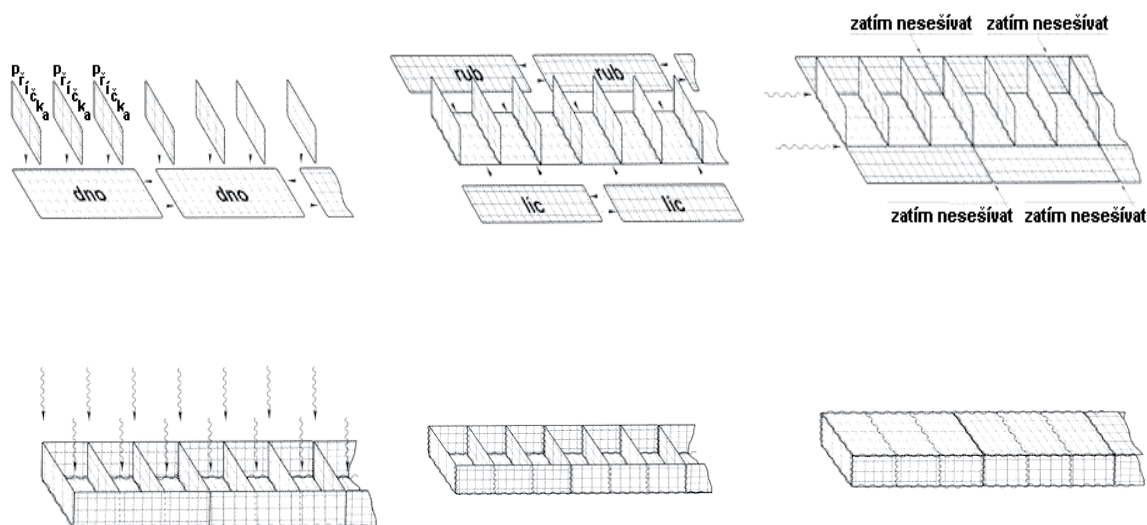
Úprava podloží

Vlastní montáži předchází nezbytná úprava terénu – zhutnění podloží a srovnání základové spáry do předepsaného sklonu. Výhodné pro přípravu základové spáry je použití

gabionových maticí, které se snadno přizpůsobí reliéfu podloží. Gabionové zdi nepotřebují základ, jsou hloubeny 10 – 40 cm v zemi popř. i hlouběji pokud vychází malý stupeň stability. Gabiony svou hmotností musejí dokázat vzdorovat tlaku zeminy. Proto bývá tloušťka zdi jeden metr i více.

Kamení v kleci

Gabionová konstrukce se vytváří ze sítě a spojovacího materiálu. Síť je svařovaná z žárově pozinkovaného ocelového drátu, jehož životnost je až padesát let. Oka sítě mohou být různých rozměrů 10x5 cm případně 10x10 cm. Volba velikosti závisí především na výplňovém materiálu, který by měl být 3-krát větší než jsou oka v síti. Sítě se spojují sponami, spirálami a montážním drátem. Spirálovitý tvar umožňuje reagovat na případné tlaky a pnutí vyskládaného kamene, který na sucho vyskládaný, zůstává stále živoucím organismem. Základní rozměr sítě je možné upravit a konstrukci vybudovat přesně na míru. Dokonce není nutné vyžadovat pravé úhly, ale je možné vybudovat například oblouk či úkos vytvářející sklon svahu. Pro výplň se používá lomový kámen, neštěpný a dostatečně tvrdý. Pevnost v tlaku dosahuje min. 50 MPa, nasákavost nemá být větší než 1,5 % a objemová hmotnost je min. 1600 kg/m³ nebo se také může použít zemina s kombinací s geotextilií. Možnost je taky využít recyklovaného materiálu v podobě drceného betonu, vysokopeční strusky apod. Na pohledové strany se vybírají větší kusy, které se skládají systémem suchého zdění. Zadní část gabionu nebo vnitřek při obou vnějších stranách pohledových se vysype drobnější frakcí, může se použít například i betonová drť či zemina.



Obrázek č.16 – Postup montážní gabionové konstrukce

Umístění spon v gabionu zaručuje odolnost a pevnost přední svislé stěny proti vyboulení a tím je zajištěna tvarová stálost konstrukce. Ke spojení sítí slouží spirály a jako pomocný prostředek k vytvoření požadovaného tvaru gabionové konstrukce se používá montážní drát.

Velkou výhodou je suchá montáž, přírodní vzhled, variabilnost použití, takže se gabiony mohou realizovat i v zimním období. Výhodou je i vodopropustnost konstrukce a vysoká zvuková pohltivost, což gabion předurčuje pro protihlukové bariéry. Přírodní materiál nejenže dodává gabionu přídavek estetický, ale i ekologický. K tomu přidejme i recyklovatelný a snadno rozebíratelný.

8.1.2 Návrh sanačního opatření

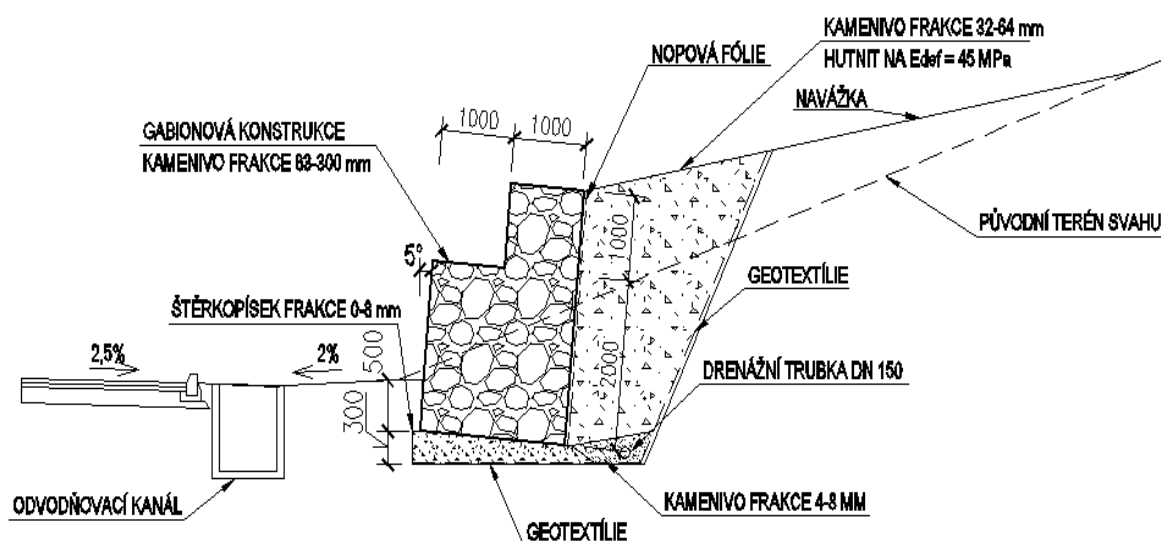
Sanační opatření pomocí gabionové stěny se jeví jako jedna z nejlepších variant zajištění stability svahu proti sesuvu. Jak je uvedené v předchozí kapitole optimální je založení gabionové stěny do hloubky 400 mm pod terén. Jako výplňový materiál bude použit lomový kámen, který by měl být na pohledové části stěny větší než 300 mm. Svařované sítě, spojovací materiál a distanční spony budou ze silně žárově pozinkovaného drátu s pevností drátů min. 400 MPa (ČSN EN 10002-1), tahová pevnost sítě min. 40 kN/m a tažnost je minimálně 8 %. Velikost jednotlivých ok je 100 x 50 mm a průměr drátu bude 4 mm.

Vytvoření výpočtového modelu je téměř podobné jako v kapitole 7.5. Vychází se z kroku č.3. Jediná nepatrná odlišnost je, že se odebere zemina z paty svahu pro vytvoření gabionové stěny a základu pod stěnou, který bude tvořen štěrkopískovým polštářem frakce 0-8 mm. Následně se přiřadí parametry k těmto materiálům a provede se výpočet.

Při vyhodnocení stávajícího svahu je vidět na obrázku č. (15) průběh smykové plochy nacházející se ve svahu zářezu.

Hloubka založení gabionové stěny je v tomto případě 500 mm pod úroveň terénu. Pod touto stěnou se nachází štěrpkopískový podsyp v tloušťce 300 mm, který je během sypaní hutnět po vrstvě cca. 150 mm. Tloušťka štěrkopísku byla zvolena z důvodu vyrovnaní podloží a rovnoměrného sedání gabionové konstrukce. Ve vzdálenosti 1,3 m od hrany silnice je umístěna odvodňovací šachta do které bude svedena voda, která se bude nacházet za konstrukcí, pomocí drenážky DN 150, která leží za gabionovou konstrukcí. Jejím úkolem je

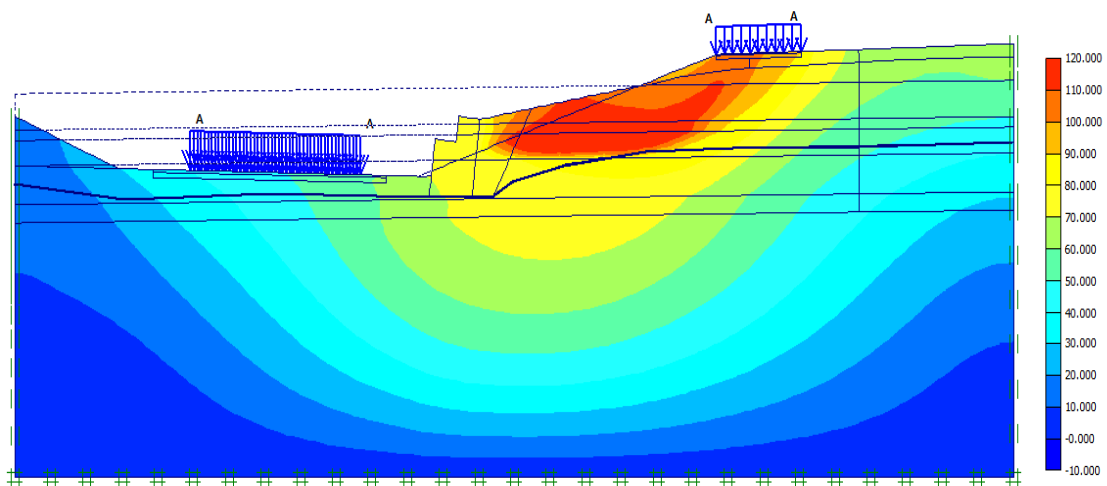
odvedení podzemní vody. Tato drenáž bude obsypána kamenivem frakce 4-8 mm. Z důvodu efektivnějšího odvedení hladiny podzemní vody, bude za gabionem navrženo žebro z lomového kameniva frakce 32-63 mm. Styk gabionové konstrukce se štěrkem bude opatřen nopovou fólií, která bude zabránovat mechanickému opotřebení gabionové konstrukce. Vlastní konstrukce gabionové stěny se nachází ve sklonu 5° směrem k řezu svahu. Tento sklon jsem zvolil z důvodu, aby nedocházelo k velkému překlopení gabionové konstrukce. Znázornění tohoto sanačního opatření gabionové stěny je na obrázku č.(17) .



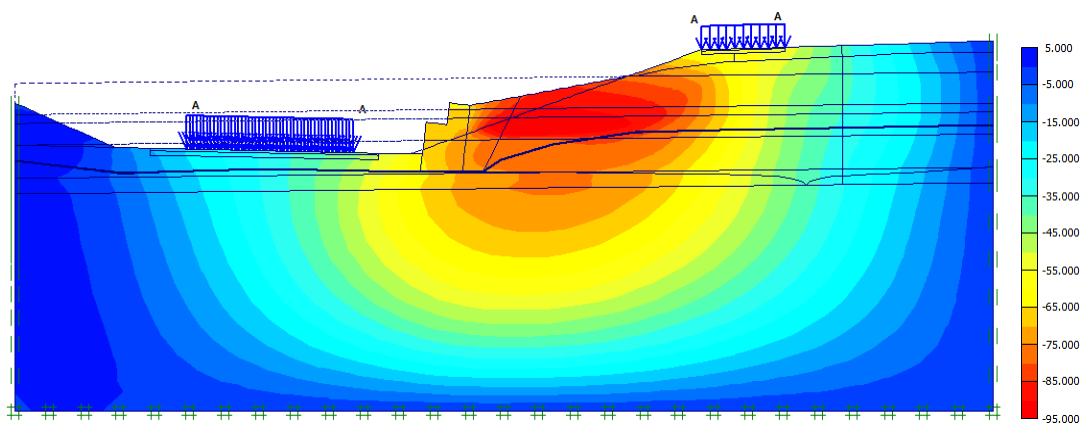
Obrázek č.17 – Návrh gabionové konstrukce

Při modelové analýze tohoto sanačního opatření nastal docela vážný problém a to ten, že výpočetní program Plaxis 2D nedokázal dokončit výpočet, pokud se pod gabionovou konstrukcí nacházela vrstva štěrkopísku. Po poradě s paní doc. RNDr. Evou Hruběšovou, Ph.D., bylo přistoupeno k alternativě, že tloušťku štěrkopískového podsypu pod gabionem se bude brát jako součást gabionové konstrukce se stejnými vstupními výpočetními parametry.

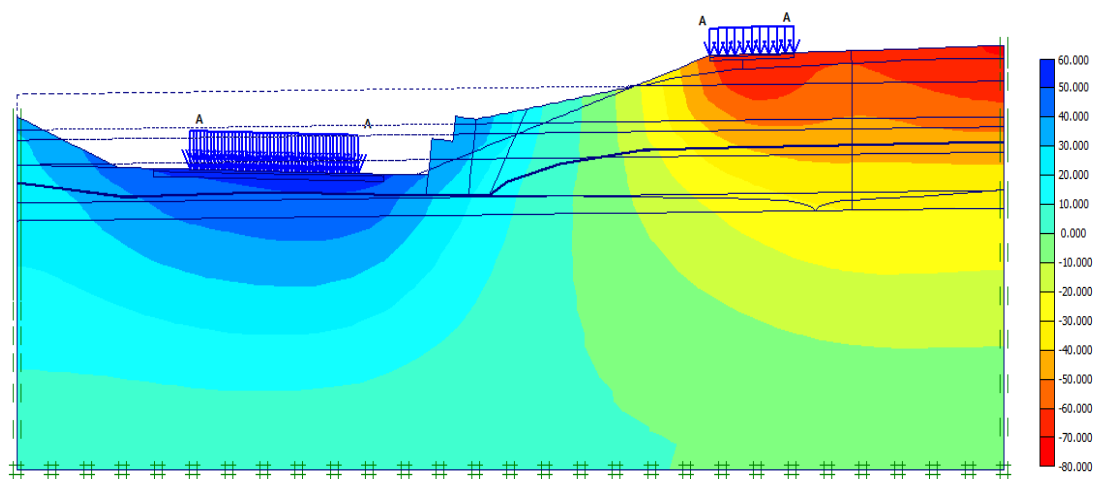
Celkové posuny u tohoto sanačního opatření dosahují hodnoty 95,00 mm na rozdíl od posouzení stávajícího svahu, kde celkové posuny dosáhly hodnoty 104,00 mm. Horizontální posuny dosahují hodnoty 94,02 mm a jsou znázorněny na obrázku č. (19) a vertikální posuny dosahují hodnoty 70,72 mm a jsou znázorněny na obrázku č. (20). U tohoto sanačního řešení dosahuje stupeň stability hodnoty $SF = 1,86$. Průběh smykové plochy je znázorněn na obrázku č. (21).



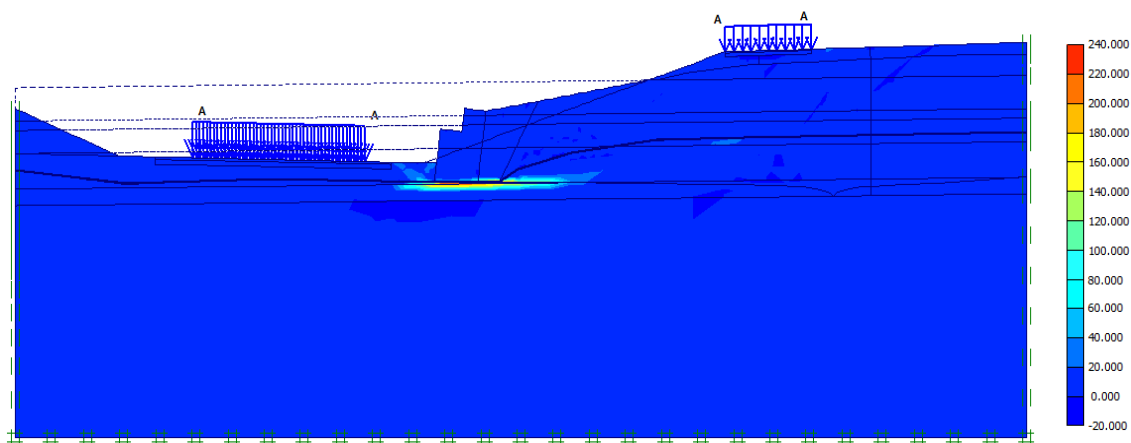
Obrázek č.18 – Celkové posuny gabionové stěny



Obrázek č.19 – Horizontální posuny gabionové stěny



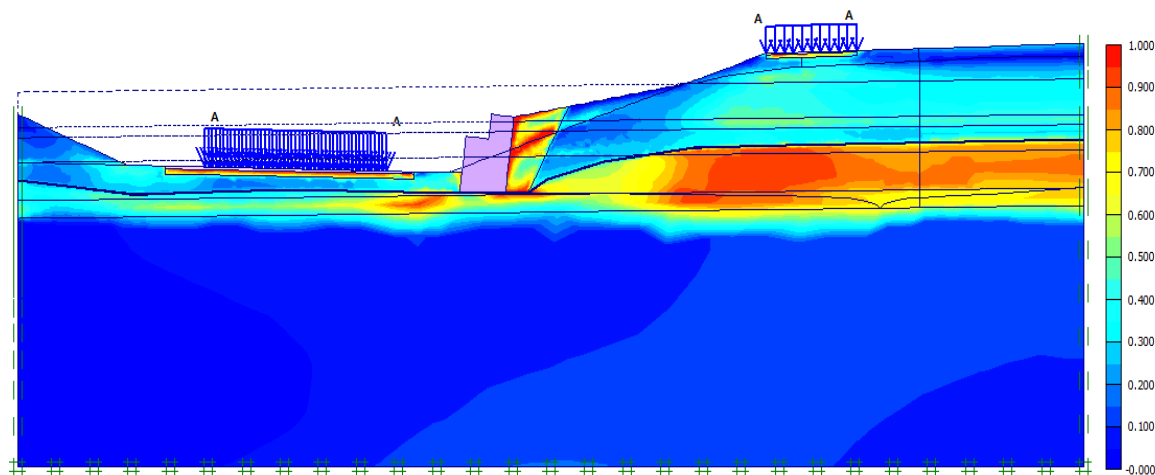
Obrázek č.20 – Vertikální posuny gabionové stěny



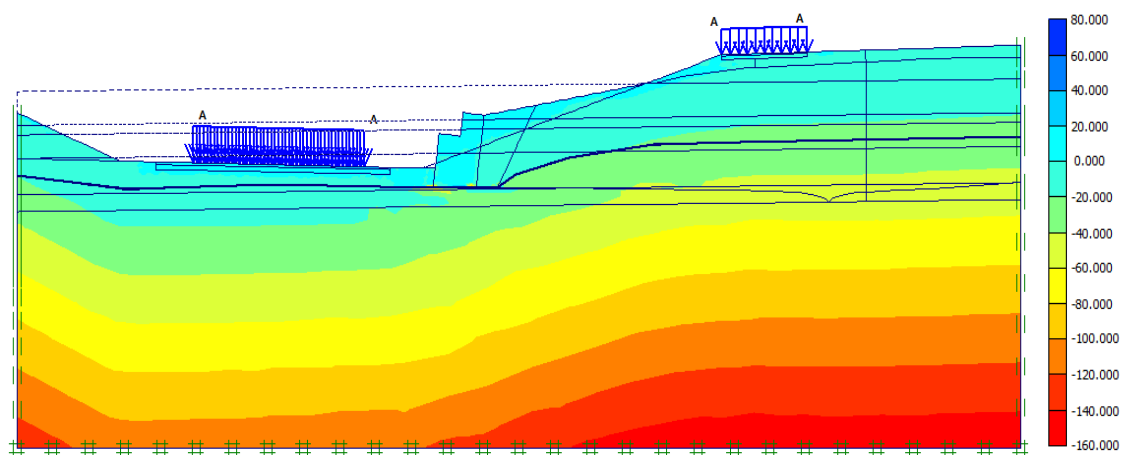
Obrázek č.21 – Průběh smykové plochy pod gabionem

Z obrázku č.(21) je patrné, že došlo k prohloubení smykové plochy oproti původní smykové ploše viz. obrázek č.(15). Smyková plocha se nyní nachází pod základem na rozhraní vrstev jílovité a písčito-hlinité. To může být způsobeno přenosem zatížení od gabionové stěny a základu do podloží, výskytem větších koncentrací celkových posunů, ale také úrovní snížené hladiny podzemní vody, která lícuje základovou spáru gabionové konstrukce.

Na obrázku č.(22) je znázorněn průběh smykové pevnosti jednotlivých zemin. Výraznější smykové čerpání pevnosti je pod příjezdovou komunikací, která se nachází poblíž paty svahu a ve vrchní části gabionové stěny na vnitřním lici při styku se zeminou. Dále je čerpání smykové pevnosti zemin mezi úrovní snížené hladiny podzemní vody a neogenním jílem. Dalším významným ukazatelem je průběh aktivních pórových tlaků, které jsou znázorněny na obrázku č.(23). Jejich maximální hodnota dosahuje $154,94 \text{ kN/m}^2$.



Obrázek č.22 – Čerpání smykové pevnosti zemin



Obrázek č.23 – Průběh aktivních pórových tlaků

8.2 Sanace svahu pomocí hloubkového odvodnění

Hloubkové odvodnění svahu je jedním z prvotních sanačních opatření jak při stabilizaci svahu, tak i při zabezpečení uměle vybudovaných svahů. Vlivem snížení HPV dochází ke zmenšení pórových tlaků vody na smykové ploše a tím snížení aktivních sil. U hloubkového odvodnění se často zapomíná na negativní dopady způsobené nesprávným odvodněním, ale i na ekonomické náklady spojené se zhotovením vrtů nebo studní. Při prvotním návrhu se musí zohlednit vliv snížení hladiny podzemní vody na okolní zástavbu popř. zemědělskou půdu.

Snížení hladiny podzemní vody závisí především na množství čerpané vody, na součiniteli koeficientu filtrace k (viz.tabulka č.5) daného zeminového prostředí, který je nejdůležitější charakteristikou zemin při výpočtu odvodnění, dosahu deprese a na hloubce vrtaných studní nebo odvodňovacích vrtů.

C (jíl)			M (hlína)				S,G (písek,šterk)		
10^{-11}	10^{-10}	10^{-9}	10^{-8}	10^{-7}	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}
Není třeba odvodňovat							Vyplnit póry hmotou		
							Povrchové odvodnění		
			Hloubkové odvodnění						
					Vakuové jehly		Vrtané studně		
			Elektroosmóza				Gravitační jehly		

Tabulka č.5 – Rozdělení odvodnění na základě součinitele koeficientu filtrace

Pro správnou volbu vhodného hloubkového odvodňovacího systému jsou rozhodující hydrogeologické podmínky (zejména uložení vrstev a jejich propustnost) a geometrie svahu, u které je rozhodující výška svahu. Správnou funkci hloubkového odvodnění zajistí jejich dosah, a to až do propustné vrstvy v podloží smykové plochy. Možné způsoby hloubkového odvodnění:

- čerpací studně
- elektroosmóza
- čerpací jehly
- vakuově čerpací jehly
- horizontální odvodňovací vrtvy

Čerpací studně nám umožňují sloučit průzkumné a odvodňovací práce. Zřizování čerpacích studní je vhodné tam, kde není možné dosáhnout vodorovnými vrtvy nebo by docházelo k ucpání vodorovných vrtů. Jejich průměr může dosahovat až 300 mm. Nevýhodou této metody je pomalý postup zhotovení vrtů z důvodu průzkumných prací. Na základě odčerpávaného množství vody lze usměrňovat hladinu podzemní vody, velikost a dosah depresního kužele. U této metody je nutné stanovit optimální rychlost čerpání vody pomocí čerpadel, aby nedocházelo k vyplavování jemných částic z okolních zemin.

Elektroosmózu je vhodné použít v málo propustných a zvodněných zeminách jako jsou jílovité hlíny, hlíny a prachovité zeminy kde je velká část pórů uzavřena vázanou vodou. Součinitel filtrace se nachází v rozmezí 10^{-6} až 10^{-9} m/s. Vlivem zavedení stejnosměrného proudu do zemin se značná část vázané vody uvolní a může se ze zemin odčerpat. Účinnost elektroosmózy roste s měrným povrchem zemin. Vzdálenost elektrod bývá 1 až 10 m. Čerpací studně dosahují někdy průměru 200 až 350 mm a jsou tvořeny perforovanou trubkou. Čerpací studně jsou propojeny sběrným potrubím a napojeny na čerpadlo. Hlavním úkolem je, aby přitékající voda z katod byla odčerpávaná a nevracela se zpět k anodám. Vlivem snížení hladiny podzemní vody narůstá v zemině efektivní napětí. Vlivem těchto nárůstů často dochází k sedání povrchu území, a proto tato metoda není vhodná pro zpevňování podloží pod budovami nebo v blízkosti obytné zóny.

Čerpací jehly se nejčastěji používají pro odvodnění jemnozrnných písků. U této metody je možné snížit hladinu podzemní vody až o 3 m. Čerpací jehly jsou zhotoveny z ocelové trubky o průměru 40 až 50 mm a jejich celková délka dosahuje 6 až 8 m. Skládají se z koncovky a nástavce. Koncovka dosahuje délky 0,8 až 1,6 m a je perforovaná a umožňuje

vplachování jehly do požadované hloubky, ale také čerpání vody. Čerpací jehly jsou mezi sebou vzdáleny 0,6 až 1,8 m a napojeny na sběrné potrubí. Potrubí musí dosahovat mírného stoupání 0,3 až 0,5 % směrem k čerpadlu, aby nedocházelo k zavzdušnění systému. Zavzdušnění jehel lze zabránit použitím dvojité koncovky. V případě jednoduché koncovky je zapotřebí posoudit, jestli hladina v okolí čerpací jehly neklesla pod perforovanou část.

Vakuové čerpací jehly se stávají neúčinnými, pokud propustnost kolektoru klesne na hodnoty součinitele filtrace 10^{-5} až 10^{-7} m/s. Pokud se při terénu nevyskytuje přirozená vrstva jemnozrnných zemin, tak se okolí čerpacích jehel do hloubky 0,5 až 1,0 m od povrchu terénu utěsní jílem. Pokud jsou čerpací jehly vkládané do předvrtaných otvorů, je další možností provedení utěsnění prostoru vně vrtu blízko povrchu území do hloubky 1 m jílem. Na základě utěsnění dosáhneme podtlaku, který umožní odčerpání vody jehlami.

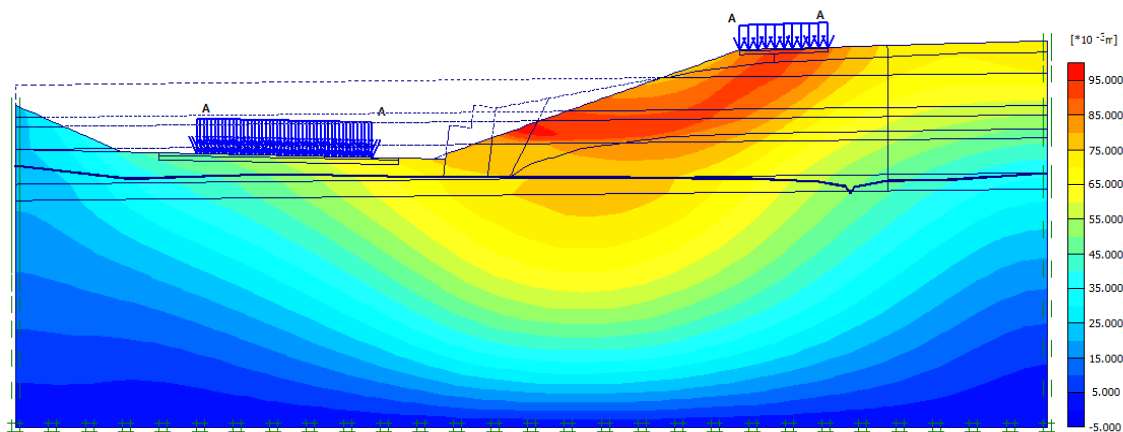
Horizontální odvodňovací vrty pro sanaci sesuvů se používají za účelem odvedení podzemní vody ze smykových ploch. Provádějí se do hloubky až 150 m. Vrty jsou opatřeny ve většině případů perforovanou ocelovou eventuálně plastovou výstrojí. V zeminách o třídě rozpojitelosti 1-3 se vrty dělají o průměru 200-600 mm a ve skále se dělají průměru 140-310 mm. Velkou výhodou horizontálních odvodňovacích vrtů je jednoduchá technologie provádění a i realizace je poměrně rychlá. U této metody nemusíme používat žádné dodatečné zařízení pro odvádění podzemních vod. Hlavním požadavkem je, aby vrt byl veden až do nejpropustnější vrstvy. Při umístění vrtů se častěji používají dovrchní vrty na rozdíl od úpatních, které se více zanášejí. V místě výtoku podzemní vody je vhodné vytvoření štěrkového nebo kamenitého přesypu a to z důvodu, aby při mrazech voda nezamrzla v místě vyústění a nemělo to spíše škodící efekt. Velkou nevýhodou této metody je, že s větší hloubkou vrtání může docházet k odchýlení od požadovaného směru. Při této metodě odvodnění vody nelze zajistit pravidelný odtok a z toho vyplývající pevně daný depresní kužel a pokles hladiny podzemní vody.

Sanace svahu pomocí horizontálních odvodňovacích vrtů

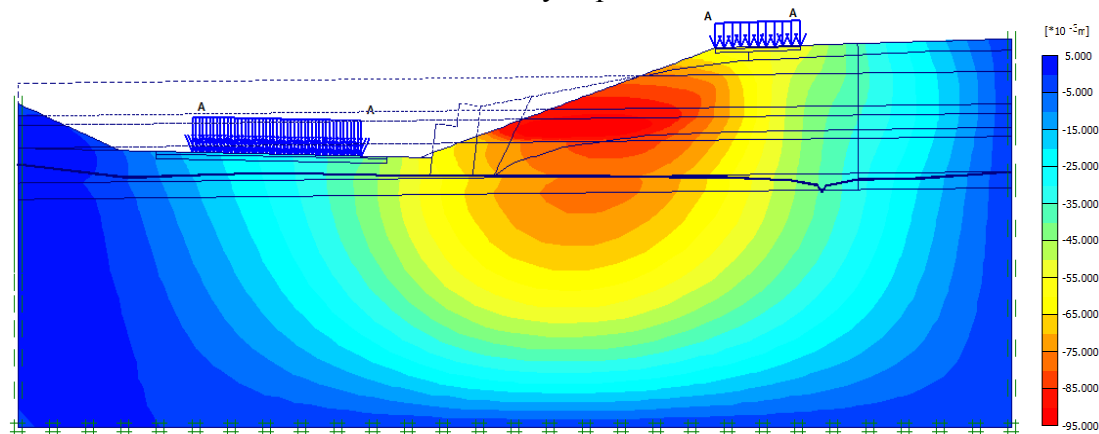
Jak už bylo zmíněno v předešlém popisu horizontálních odvodňovacích vrtů, je tato metoda založená na snížení hladiny podzemní vody pomocí jejího odčerpávání. Při modelování ve výpočetním programu Plaxis 2D budu vyhodnocovat snížení hladiny podzemní vody, která se bude nacházet 0,6 m pod úrovní paty svahu. Tato hloubka je předpokládána z dosahu depresního kužele vlivem trvalého snížení HPV. Horizontální odvodňovací vrty budou umístěny 6 m od koruny svahu a jejich hloubka bude dosahovat až na úroveň vrstvy neogenního jílu tedy do hloubky přibližně 6,5 m.

Snížení HPV do úrovně 0,6 m pod patou svahu

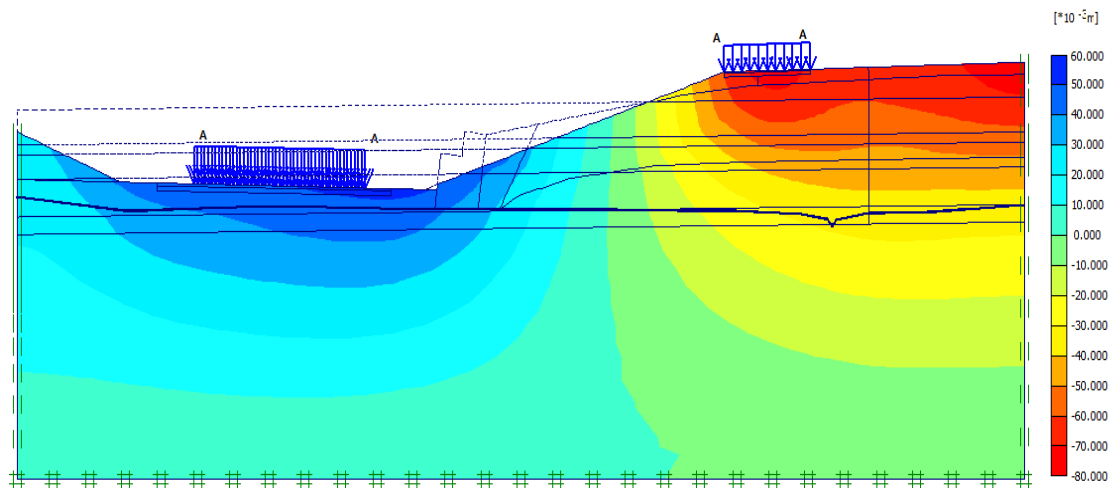
Celkové posuny ve svahu dosahují hodnoty 96,39 mm a jejich průběh je znázorněn na obrázku č. (24). Na obrázku č. (25) dosahují horizontální posuny hodnoty 93,10 mm. Oproti tomu vertikální posuny dosahují hodnoty 73,86 mm a jsou znázorněny na obrázku č. (26).



Obrázek č.24 – Průběh celkových posunů vlivem snížení HPV

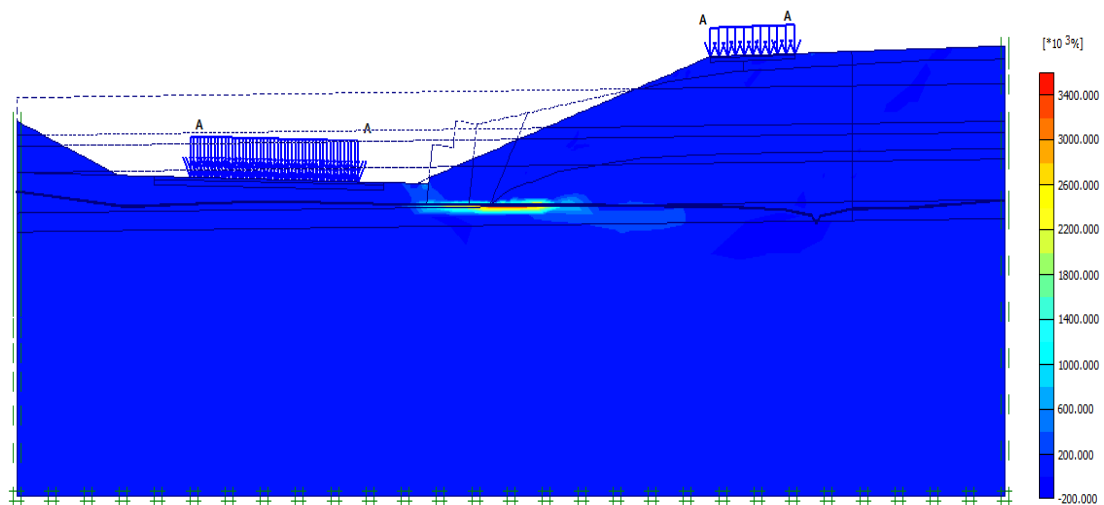


Obrázek č.25 – Průběh horizontálních posunů vlivem snížení HPV



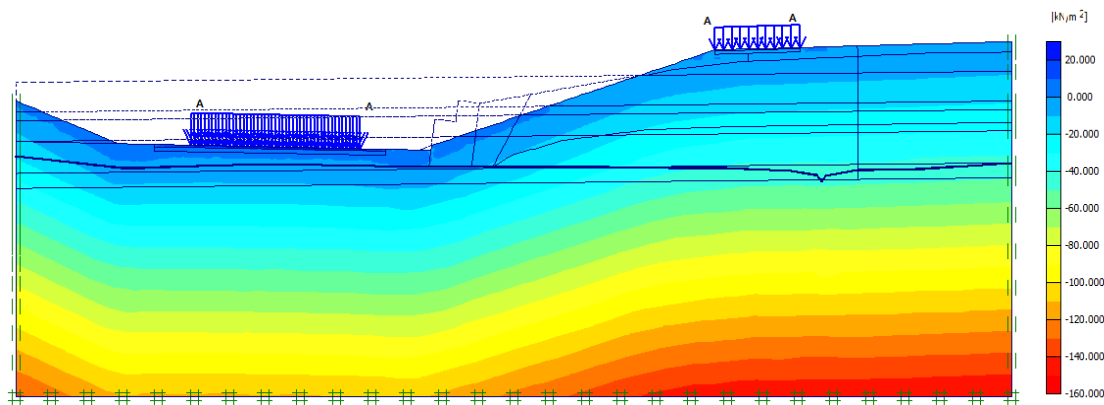
Obrázek č.26 – Průběh vertikálních posunů vlivem snížení HPV

V důsledku celkového snížení HPV dojde ke zvýšení stupně stability svahu. Oproti původní hodnotě $SF = 1,18$ je stabilita svahu téměř dvojnásobná a dosahuje hodnoty $SF = 2,22$. Na obrázku č. (27) je znázorněn průběh smykové plochy.



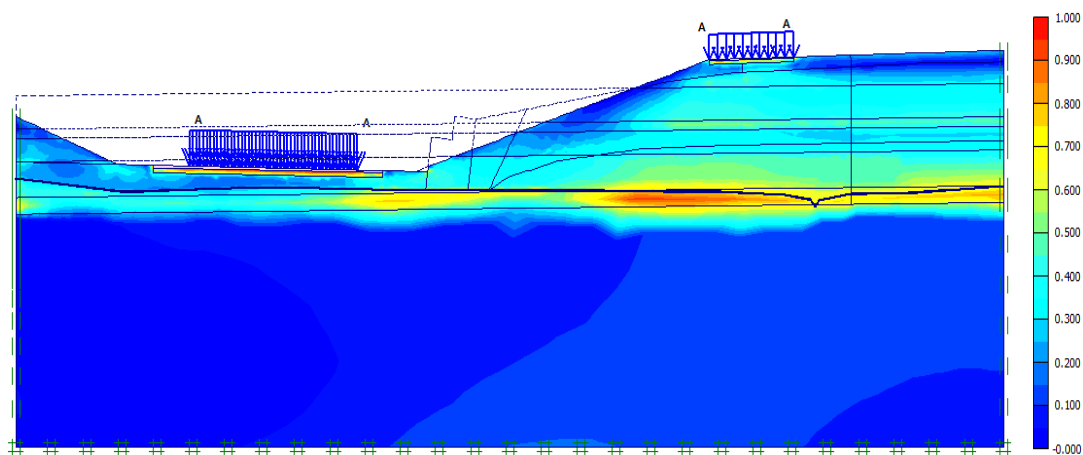
Obrázek č.27 – Znázornění smykové plochy po snížení HPV

Na obrázku č. (28) je znázorněn průběh aktivních pórových tlaků. Maximální velikost těchto tlaků se vlivem snižování hladiny podzemní vody zmenšuje. Při snížení hladiny podzemní vody do úrovně 0,6 m pod patu svahu je maximální velikost aktivních pórových tlaků $-150,57 \text{ kN/m}^2$.



Obrázek č.28 – Průběh aktivních pórových tlaků po snížení HPV

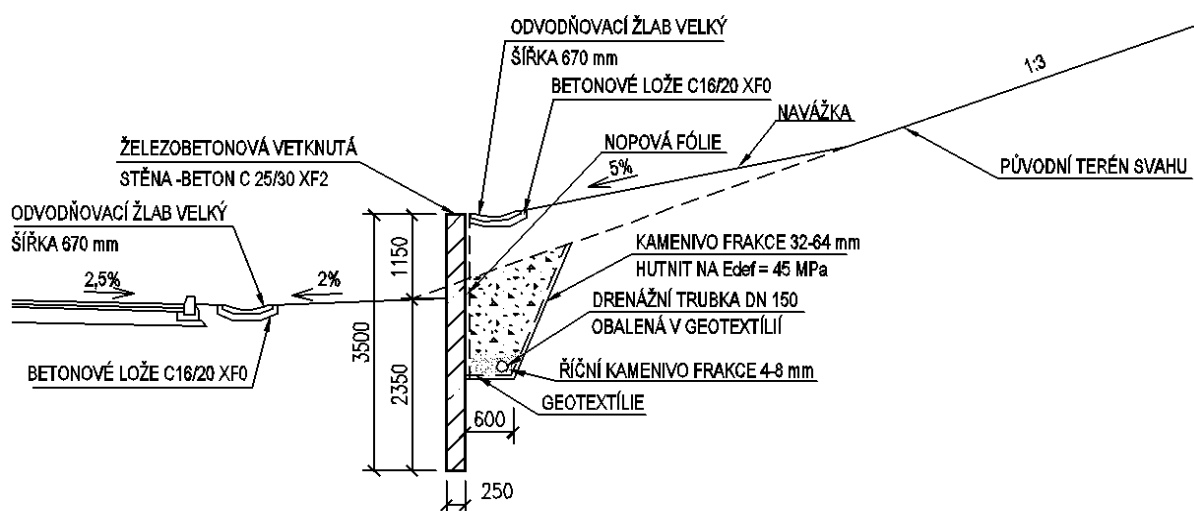
Na obrázku č. (29) je znázorněn průběh smykové pevnosti jednotlivých zemin. Výraznější smykové čerpání pevnosti je pod příjezdovou komunikací, která se nachází poblíž paty a koruny svahu. Dále dochází k výraznému čerpání smykové pevnosti na rozhraní snížené hladiny podzemní vody a vrstev písku hlinitého a neogenního jílu.



Obrázek č.29 – Čerpání smykové pevnosti jednotlivých materiálů

8.3 Sanace svahu pomocí železobetonové vetknuté stěny do svahu

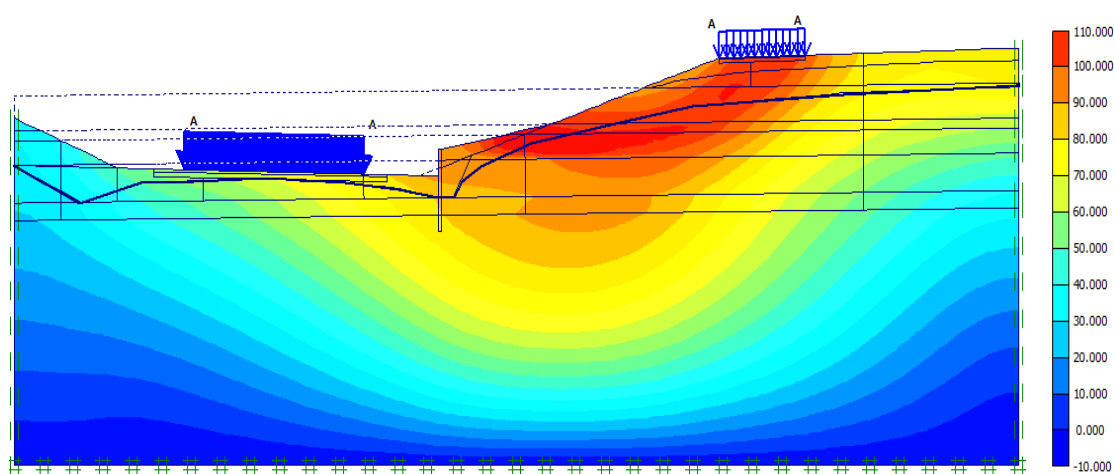
U řešení stability svahu pomocí železobetonové stěny vznikají docela podstatné problémy. Navrhovaná železobetonová stěna musí splňovat I.mezní stav a to, že daná stěna musí být stabilní a nesmí dojít k její destrukci vlivem aktivního tlaku zeminy. Tento tlak může časem vyvolat u ŽB stěny překlpení, pokud není stěna dostatečně vetknuta do podloží. Důležitým problémem je zajištění dostatečného odvodnění podloží. Z důvodu nepropustnosti železobetonového materiálu se odvodnění svahu řeší např. pomocí perforovaných trubek, které jsou zabudovány do železobetonové stěny především v úrovni nad patou svahu, kde se předpokládá největší výskyt zvýšené hladiny podzemní vody. Další variantou je umístění drenážní trubky za vnitřním lícem železobetonové stěny, která je napojena na stávající kanalizaci. Tato drenážní trubka se obaluje do geotextílie, která zajišťuje, aby nedocházelo k zanášení. Rovněž musí být drenážní trubka obsypaná pórovitým říčním kamenivem frakce 4-8 mm. Za vnitřním lícem ŽB stěny se zhotovuje drenážní žebro z kameniva frakce 32-64, aby daný svah za konstrukcí byl dobře odvodněn. Z důvodu zajištění povrchového odvodnění svahu bude za železobetonovou stěnou zhotoven odvodňovací žlab šířky 670 mm. Další odvodňovací žlab stejné šířky se provede mezi silnicí a železobetonovou stěnou. Odvodňovací žlaby budou uloženy do betonového lože C16/20 XF0 minimální tloušťky 50 mm. Aby nedocházelo k mechanickému poškození provede se na styku ŽB stěny a žebra montáž nopové fólie.



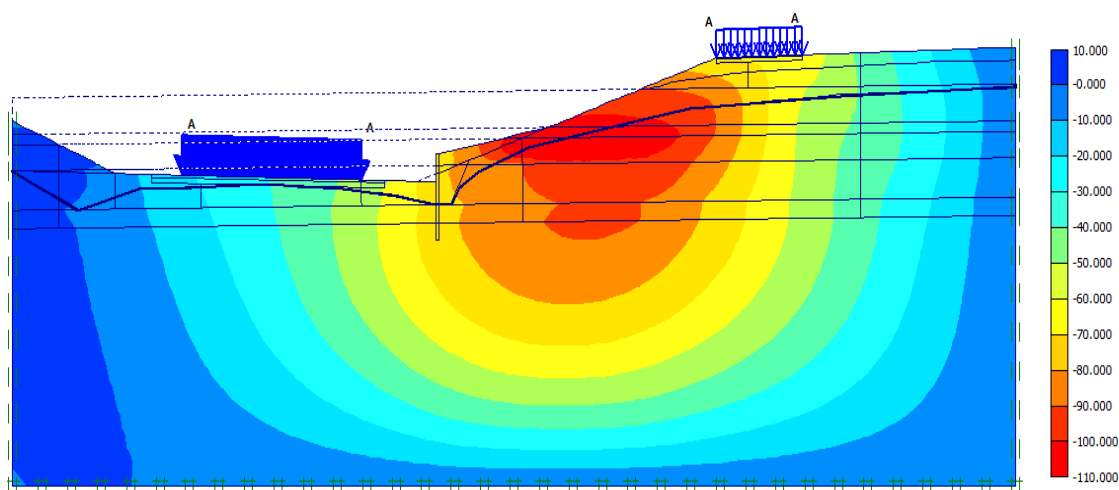
Obrázek č.30 – Schéma železobetonové vetknuté stěny

K zajištění stability svahu budu předpokládat výšku železobetonové stěny 3500 mm a její tloušťka bude 250 mm. U každého líce stěny bude umístěna kari síť s oky 100/100/8 mm. Minimální krytí výztuže bude 50 mm. Na zhotovení ŽB stěny se použije beton pevnostní třídy C 25/30 XF2. Tato stěna bude vetknuta od úrovně stávající paty svahu 2350 mm do podloží.

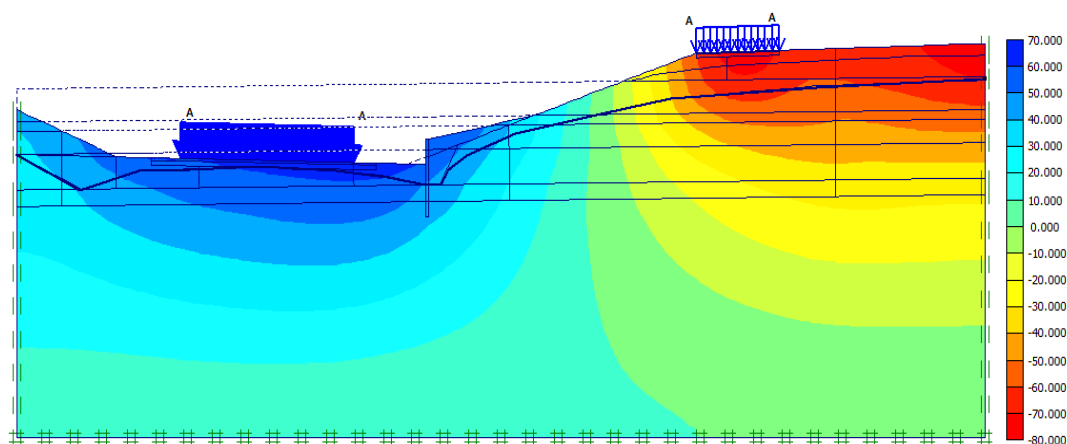
Průběh celkových posunů je znázorněn na obrázku č. (31) a dosahují hodnoty 99,51 mm. Na obrázcích č. (32,33) jsou znázorněny horizontální a vertikální posuny. Hodnota horizontálních posunů je 97,49 mm a vertikálních posunů je 74,76 mm.



Obrázek č.31 – Celkové posuny ŽB stěny

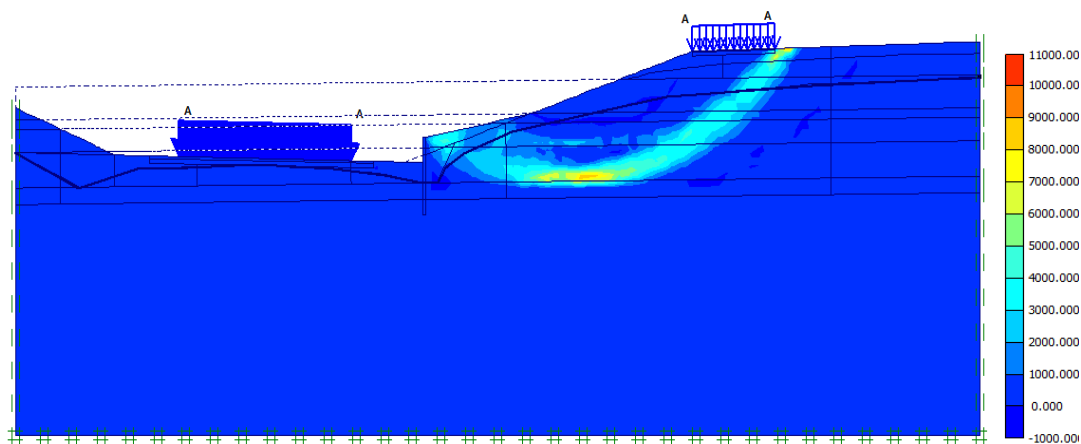


Obrázek č.32 – Průběh horizontálních posunů ŽB stěny



Obrázek č.33 – Průběh vertikálních posunů ŽB stěny

Vlivem zhotovení železobetonové vetknuté stěny dojde k zajištění odtoku podzemní vody a tím také k celkovému snížení hladiny podzemní vody. To má za následek zvýšení stupně stability svahu z původní hodnoty $SF = 1,18$ na hodnotu $SF = 1,61$. Na obrázku č. (34) je znázorněn průběh smykové plochy. Oproti původnímu průběhu viz obrázek č. (15) dojde při vetknutí ŽB stěny do podloží k prohloubení průběhu smykové plochy směrem do svahu.

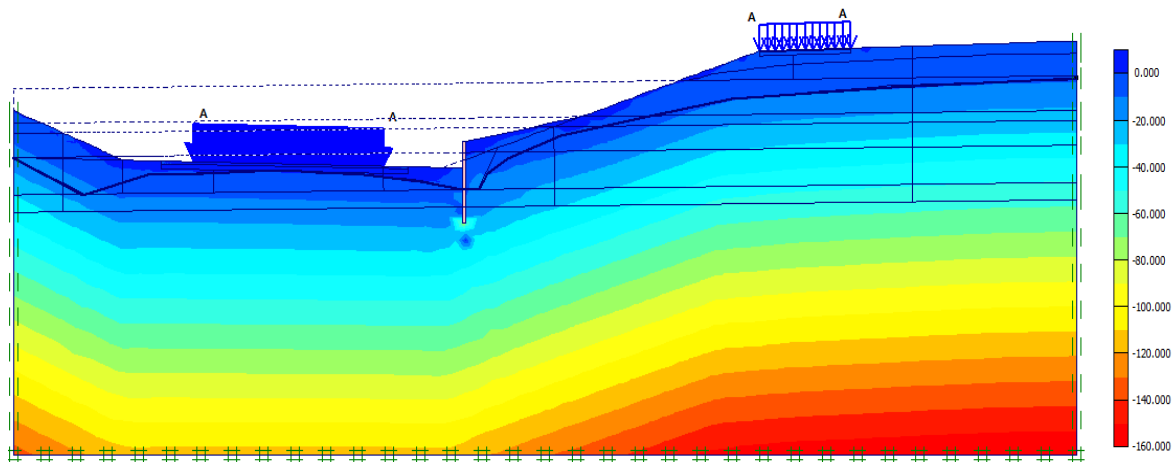


Obrázek č.34 – Průběh smykové plochy ve svahu u ŽB vetknuté stěny

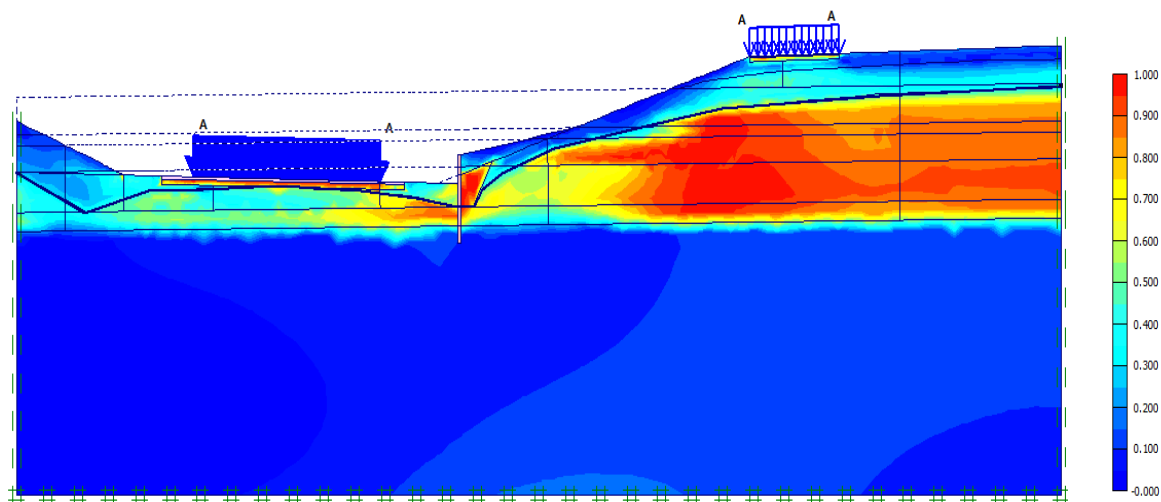
Průběh aktivních pórových tlaků je znázorněn na obrázku č.(35). Vlivem snížení hladiny podzemní vody dosahuje maximální hodnoty $-157,69 \text{ kN/m}$.

Na obrázku č. (36) je znázorněn průběh čerpání smykové pevnosti jednotlivých zemin. Výraznější smykové čerpání pevnosti je pod příjezdovou komunikací, která se nachází

poblíž paty a koruny svahu a za vnitřním lícem železobetonové stěny, kde se nachází kamenivo frakce 32-64 mm.



Obrázek č.35 – Průběh aktivních pórových tlaků po snížení HPV u ŽB vetknuté stěny

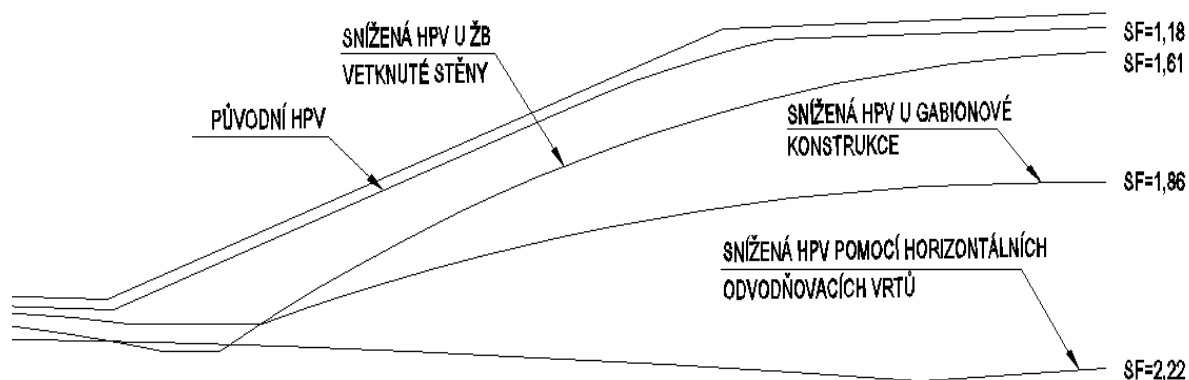


Obrázek č.36 – Čerpání smykové pevnosti jednotlivých materiálů u ŽB vetknuté stěny

9. Shrnutí výsledků modelování

Modelovou analýzu svahu jsem realizoval na dvou modelech, na kterých jsem prováděl kontrolu výsledků stávajících celkových posunů svahu a stupně stability stávajícího svahu. Celkový posun ve svahu v prvním případě vyšel 104 mm a ve druhém případě 103 mm. Tento rozdíl ve výsledcích mohl být způsoben např. odlišným generováním sítě.

V tabulce č.(6) jsou vyhodnoceny výsledky modelování stávajícího svahu a sanačních opatření k zajištění stability svahu. U sanačních metod musí být splněn stupeň stability $SF = 1,5$, který je dán normou ČSN 73 1001. Na obrázku č. (37) jsou znázorněny změny hladiny podzemní vody vlivem sanačních opatření. V tomto případě se jeví jako nejideálnější varianta hloubkové odvodnění, kde dosahuje stupeň stability $SF = 2,22$ na rozdíl od železobetonové vetknuté stěny, kde je stupeň stability $SF = 1,61$.



Obrázek č.37 – Schéma snížených HPV vlivem jednotlivých sanačních metod

V důsledku změny hladiny podzemní vody u sanačních metod, oproti stávajícímu stavu, dochází ke změně smykové plochy. Stávající smyková plocha u svahu má podkovitý tvar. U gabionové konstrukce je výraznější smyková plocha pod gabionem, kde je spíše rovná. Za gabionovou konstrukcí má tvar křivky a dochází k posunu smykové plochy směrem do svahu. Tvar smykové plochy je znázorněn na obrázku č. (21). Průběh smykové plochy u hloubkového odvodnění pomocí horizontálních odvodňovacích vrtů je téměř totožný jako u sanační metody pomocí gabionové konstrukce. U obou dvou metod je výraznější smyková plocha na rozhraní snížené hladiny podzemní vody a to mezi vrstvami zemin jílu písčitého a písku hlinitého. U sanační metody pomocí železobetonové vetknuté konstrukce dochází k výraznému prohloubení podkovovité smykové plochy za konstrukcí směrem do svahu

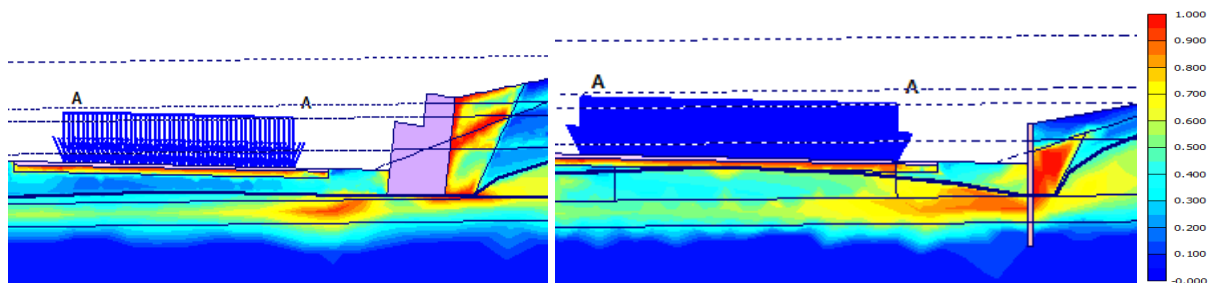
oproti stávajícímu stavu. Smyková plocha začíná za komunikací v koruně svahu a končí za železobetonovou konstrukcí viz. obrázek č. (34).

Z hlediska celkových posunů se projevuje jako nejlepší varianta sanace svahu pomocí gabionové stěny. U této metody dosahuje hodnota celkových posunů 95 mm oproti stávajícímu stavu, kde celkové posuny dosahují průměrné hodnoty kolem 103,5 mm. Ze sanačních navržených metod vycházejí největší celkové posuny a to 99,51 mm u varianty sanace pomocí železobetonové stěny.

	Posuny			Stupeň stability	Hodnota aktivních pórových tlaků [kN/m ²]
	Celkové [mm]	Horizontální [mm]	Vertikální [mm]		
Stávající svah	104,00	100,52	76,39	1,18	162,00
	103,00	100,39	76,05	1,18	161,89
Gabionová konstrukce	95,00	94,02	70,72	1,86	154,94
Hloubkové odvodnění	96,39	93,1	73,86	2,22	150,57
ŽB vetknutá stěna	99,51	97,49	74,76	1,61	157,69

Tabulka č.6 – Výsledné hodnoty z modelování v programu Plaxis 2D

Z výsledků je zřejmé, že vlivem snižování hladiny podzemní vody dochází ke zvyšování hodnoty efektivního napětí σ_{ef} a dochází ke zmenšování neutrálního napětí u . U jemnozrnných zemin, které nejsou úplně nasyceny vodou, přenáší část neutrálního napětí voda a druhou část vzduch. Z výsledků modelování je patrné, že k největšímu čerpání smykové pevnosti jemnozrnných zemin dochází pod hladinou podzemní vody a u hrubozrnných zemin je to pod komunikací a za gabionovou a železobetonovou vetknutou stěnou. Čerpání smykové pevnosti zemin za konstrukcemi je znázorněno na obrázku č. (38).



Obrázek č.38 – Čerpání smykové pevnosti zemin za opěrnými konstrukcemi a pod pozemní komunikací

Z daných výsledků modelování se přikláním k sanační variantě pomocí gabionové konstrukce. U této sanační varianty vycházejí nejmenší posuny a stupeň stability je dostačující na to, aby daný svah byl stabilní. Nevýhodou tohoto sanačního návrhu je objem výkopových prací a pracnost při montáži gabionové konstrukce. Další nevýhodou je částečný zábor pozemní komunikace vlivem pohybu mechanizace a skladování materiálu oproti například sanační metodě pomocí hloubkového odvodnění.

10. Závěr

Hlavním úkolem diplomové práce bylo posouzení a vyhodnocení stávajícího sesuvu svahu a navržení minimálně dvou sanačních variant jak zabezpečit svah, tak aby byl stabilní. Domnívám se, že jsem svou diplomovou prací naplnil zadanou osnovu.

Zadání této diplomové práce mně umožnilo vykonat projekční práce od prvotní obhlídky sesuvu, přes získání podkladů především z Geofondu jako vstupních parametrů do výpočetního modelu, až k vyhodnocení a návrhu sanace pomocí numerického programu Plaxis 2D, který je založený na metodě konečných prvků. Výsledkem mé práce je vyhodnocení stávajícího sesuvu a navržení optimální sanace.

Závěrem bych chtěl poděkovat za odbornou pomoc při tvorbě modelů mé vedoucí diplomové práce paní doc. RNDr. Evě Hrubéšové Ph.D. a panu Ing. Jaroslavu Ryšávkovi Ph.D., který nešetřil radami ze svých životních zkušeností týkajících se problematiky sesuvů svahů.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek č.1- Přehledná situace zájmové oblasti v měřítku 1:25 000	8
Obrázek č.2 - Geologická mapa zájmové oblasti v měřítku 1:500 000	11
Obrázek č.3 – Sesuv svahu č.1	16
Obrázek č.4 – Sesuv svahu č.2 a 3	16
Obrázek č.5 – Sesuv svahu č.4	17
Obrázek č.6 - Vyznačení sesuvu a poloha jednotlivých vrtných průzkumů	20
Obrázek č.7 – Původní geometrie terénu	24
Obrázek č.8 – Stávající geometrie svahu	25
Obrázek č.9 – Celkové hodnoty posunů po odstranění zeminy	26
Obrázek č.10 – Celkové posuny po zhotovení navážky a komunikace	27
Obrázek č.11 – Horizontální posuny po zhotovení navážky a komunikace	27
Obrázek č.12 – Vertikální posuny po zhotovení navážky a komunikace	28
Obrázek č.13 – Průběh aktivních pórových tlaků	28
Obrázek č.14 – Čerpání smykové pevnosti materiálů	28
Obrázek č.15 – Znázornění smykové plochy svahu zářezu	29
Obrázek č.16 – Postup montážní gabionové konstrukce	33
Obrázek č.17 – Návrh gabionové konstrukce	35
Obrázek č.18 – Celkové posuny gabionové stěny	36
Obrázek č.19 – Horizontální posuny gabionové stěny	36
Obrázek č.20 – Horizontální posuny gabionové stěny	36
Obrázek č.21 – Průběh smykové plochy pod gabionovou stěnou	37
Obrázek č.22 – Čerpání smykové pevnosti zemin	37
Obrázek č.23 – Průběh aktivních pórových tlaků	38
Obrázek č.24 – Průběh celkových posunů vlivem snížení HPV	41
Obrázek č.25 – Průběh horizontálních posunů vlivem snížení HPV	41
Obrázek č.26 – Průběh vertikálních posunů vlivem snížení HPV	42
Obrázek č.27 – Znázornění smykové plochy po druhém snížení HPV	42
Obrázek č.28 – Průběh aktivních pórových tlaků po snížení HPV	43
Obrázek č.29 – Čerpání smykové pevnosti jednotlivých materiálů	43
Obrázek č.30 – Schéma železobetonové vetknuté stěny	44
Obrázek č.31 – Celkové posuny ŽB stěny	45

Obrázek č.32 – Průběh horizontálních posunů ŽB stěny	45
Obrázek č.33 – Průběh vertikálních posunů ŽB stěny	46
Obrázek č.34 – Průběh smykové plochy ve svahu u ŽB vetknuté stěny	46
Obrázek č.35 – Průběh aktivních pórových tlaků po snížení HPV u ŽB vetknuté stěny ..	47
Obrázek č.36 – Čerpání smykové pevnosti jednotlivých materiálů u ŽB vetknuté stěny .	47
Obrázek č.37 – Schéma snížených HPV vlivem jednotlivých sanačních metod	48
Obrázek č.38 – Čerpání smykové pevnosti zemin za opěrnými konstrukcemi a pod pozemní komunikací	49

SEZNAM TABULEK

Tabulka č.1 - Základní geomorfologické členění zájmové oblasti	12
Tabulka č.2 – Data poskytnutá geotechnickým průzkumem [6]	22
Tabulka č.3 – Upravené hodnoty parametrů zemin	22
Tabulka č.4 – Parametry potřebné k modelu svahu a návrhu sanace [7]	23
Tabulka č.5 – Rozdělení odvodnění na základě součinitel koeficientu filtrace	38
Tabulka č.6 – Výsledné hodnoty z modelování v programu Plaxis 2D	49

SEZNAM LITERATURY

- [1] Turček, P a kolektiv. *Zakládání staveb*. Bratislava: JAGA group, 2005, 285 s, ISBN 80-876-023-3
- [2] Rozsypal, A. *Kontrolní sledování a rizika v geotechnice*. Bratislava: JAGA group, 2001, 191 s, ISBN-80-88905-44-3
- [3] Vaníček, I., Vaníček M. *Earth Structures*. Kluwer Academic Publisher Group ISBN 9781402039638
- [4] Plaxis, *Plaxis reference manual*. Version 8.2, 2002, 192 s
- [5] Záruba, Q., Mencl, V. *Sesuvy a zabezpečování svahů*. Academia Praha, 1987, 338 s
- [6] Pecák, F., *Inženýrsko-geologický průzkum základové půdy a silničního podloží ve Starém Městě u Uherského Hradiště – obchvat*. Brno: GEOKONZULT, 1991
- [7] Kabelka, J., *Posouzení stability cesty v obci Lidečko a návrh sanace*. Ostrava, 2009, 65 s.
- [8] <http://www.gabionykoloseum.cz>

SEZNAM PŘÍLOH

(1) **Fotodokumentace geologických vrtů**

Geologický vrt J5

Geologický vrt J6

Geologický vrt J7

(2) **Nivelace svahu**

Stanovení výškových bodů svahu pomocí nivelace

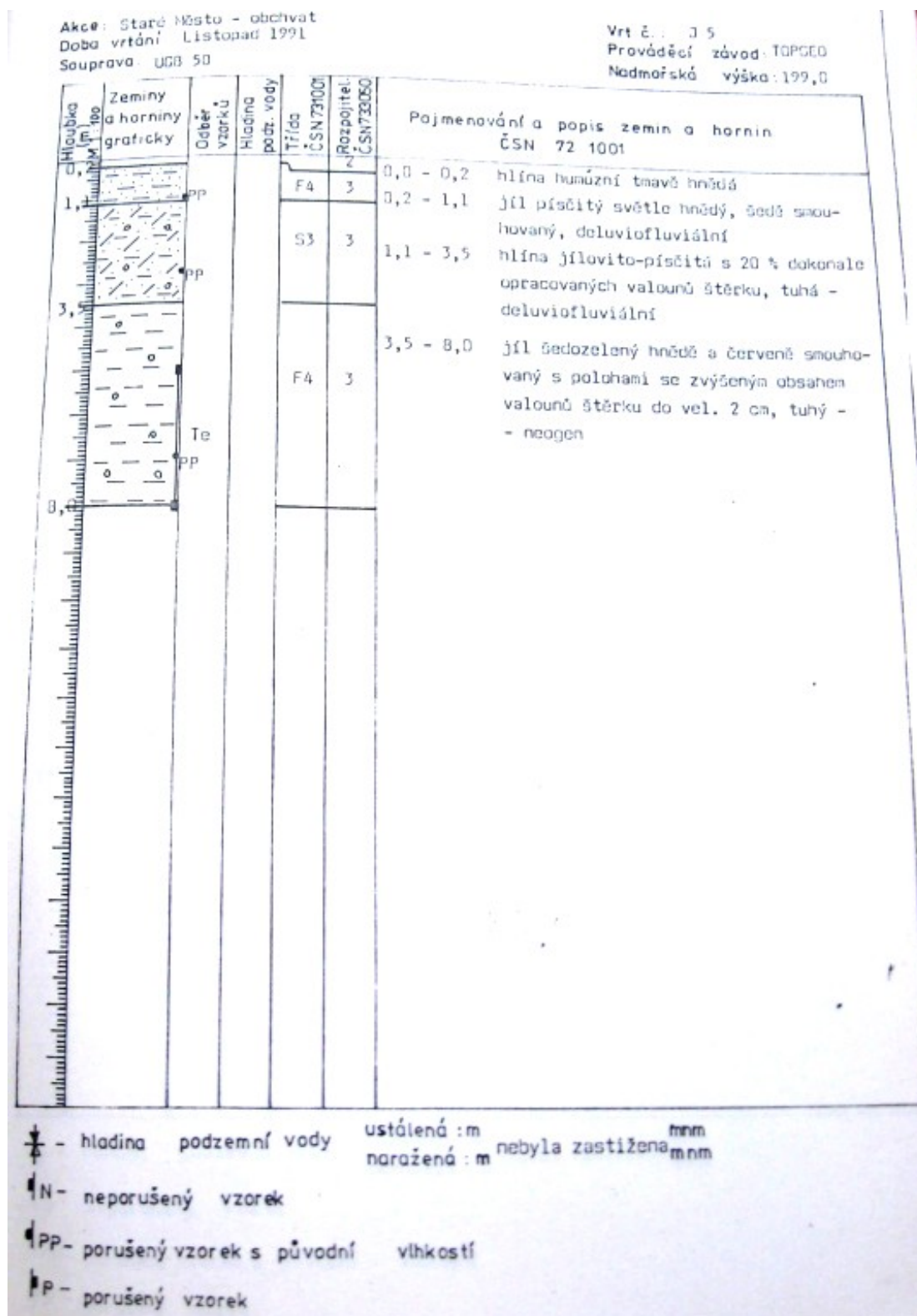
Schéma nivelačního postupu měření

Řezy jednotlivými sesuvy svahu

(3) **Doplňující fotodokumentace**

Fotodokumentace cesty a sesuvu svahu

(1) FOTODOKUMENTACE GEOLOGICKÝCH VRTŮ

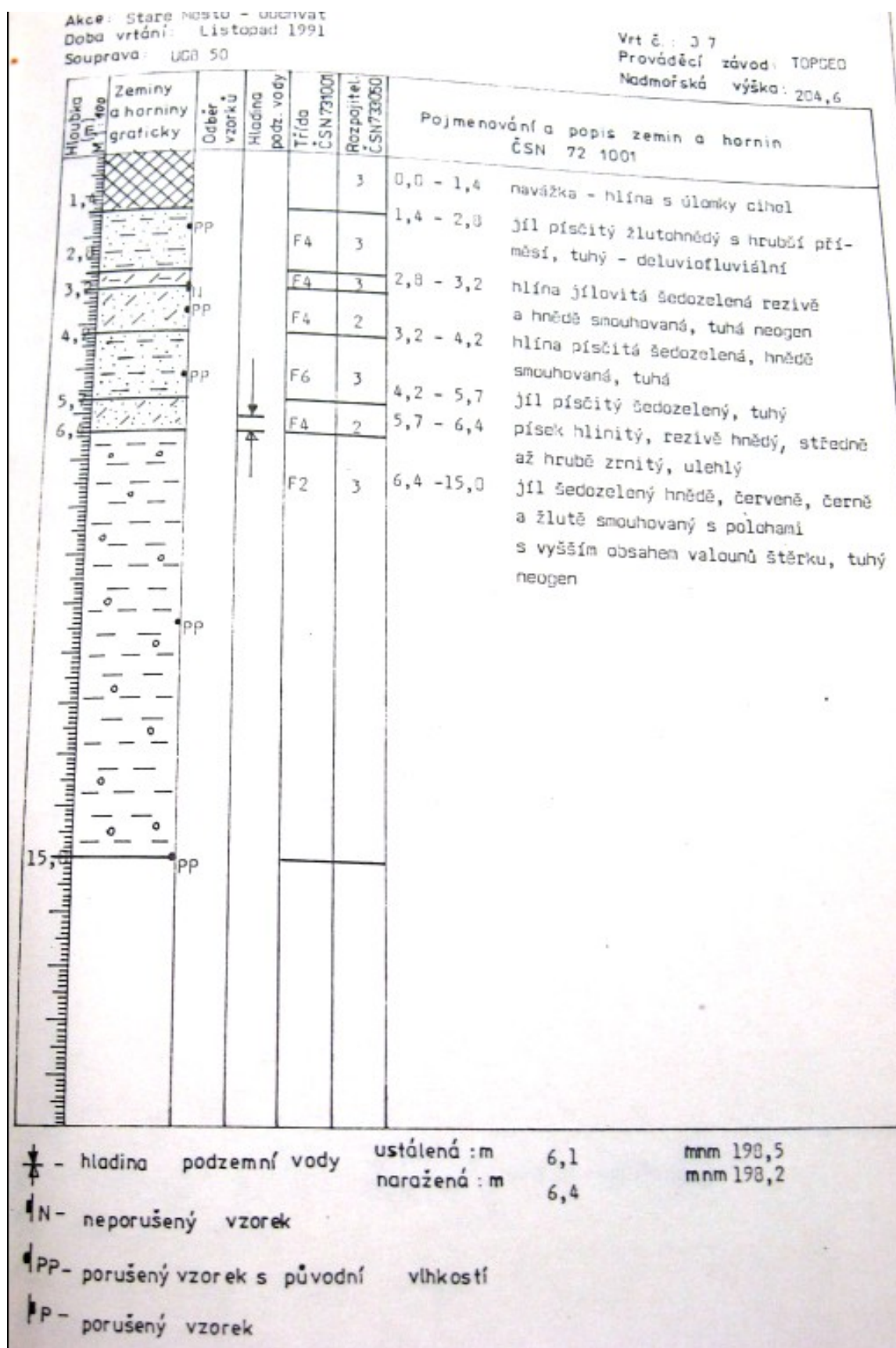


Geologický vrt J5

Geologický vrt J6

Vrt č.: 36
Prováděcí závod: TOPCED
Nadmořská výška: 203,3





Geologický vrt J7

(2) NIVELACE SVAHU

BOD	ČTENÍ LATĚ			VÝŠKA SROVNÁVACÍ ROVINY	VÝŠKA BODU
	VZAD	STŘED	VPŘED		
S1	2,933				189,814
P1			0,738	192,747	192,009
S2	2,288			194,297	
P2			0,642		193,655
S3	3,213			196,868	
1		2,014			194,854
2		1,958			194,910
3		0,379			196,490
P3			0,737		196,131
S4	3,315			199,446	
4		1,480			197,966

BOD	ČTENÍ LATĚ			VÝŠKA SROVNÁVACÍ ROVINY	VÝŠKA BODU
	VZAD	STŘED	VPŘED		
S5	2,748				192,009
P5			0,497	194,757	194,260
S6	3,854			198,114	
P6			0,568		197,546
S7	3,326			200,872	
P7			0,304		200,568
S8	2,078			202,646	
P8			0,690		201,956
S9	1,503			203,459	
5		1,476			201,983
6		1,356			202,103
7		4,590			198,869
8		4,714			198,745
P9			0,768		202,691
S10	2,085			204,776	
9		1,975			202,801

BOD	ČTENÍ LATĚ			VÝŠKA SROVNÁVACÍ ROVINY	VÝŠKA BODU
	VZAD	STŘED	VPŘED		
S11	2,788				192,009
P11			0,247	194,797	194,550
S12	3,549			198,099	
P12			0,286		197,813
S13	3,253			201,066	
P13			0,205		200,861
S14	1,902			202,763	
10		0,826			201,937
11		2,565			200,198

Nivelační zápisníky s určenými výškovými body jednotlivých sesuvů

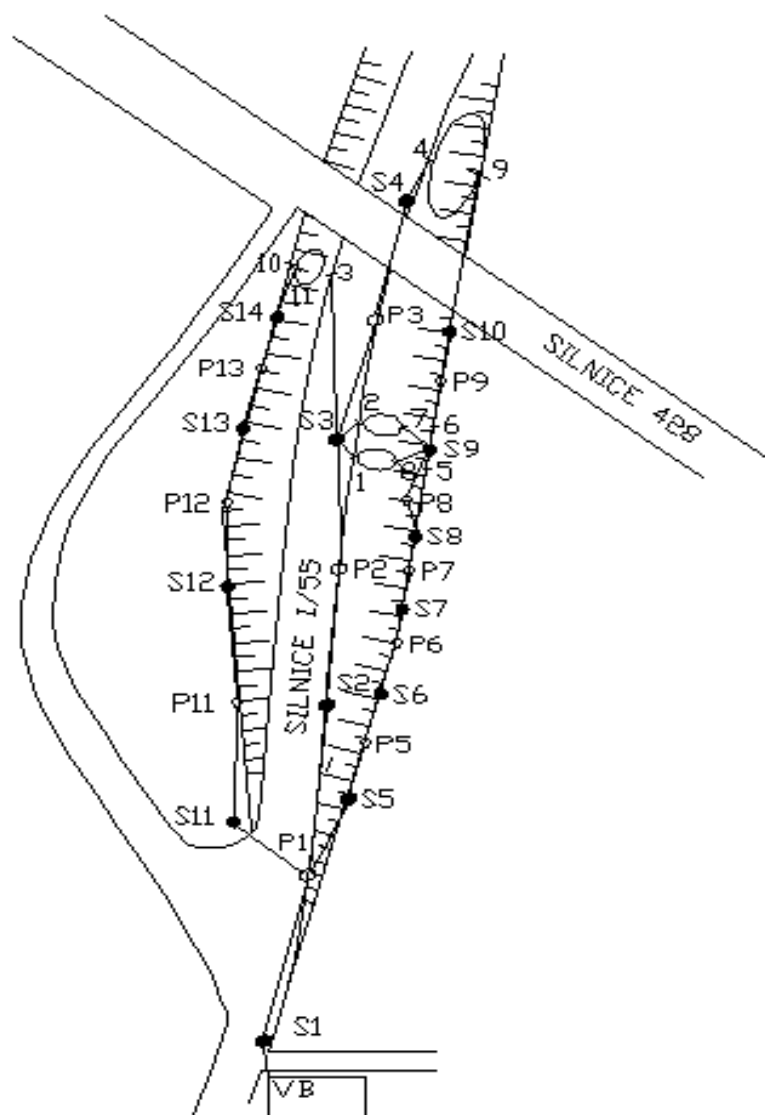


Schéma nivelačního postupu měření

(3) Doplnující fotodokumentace



Koruna svahu se sesuvem zasahujícím do příjezdové komunikace



Fotodokumentace popraskané vozovky v koruně svahu